

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ С.М.Пересада
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Електромеханічні системи
автоматизації, електропривод та електромобільність»**

**зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» на тему:**

**«Дослідження енергетичних характеристик електромеханічної системи
ліфтової підйомної установки»**

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕП – 91 мп
(шифр групи)

_____ Котенко Максим Геннадійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник проф., к.т.н., Печеник М.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 р.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма – «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність»



ГВЕРДЖУЮ

ідувач кафедри

Сергій ПЕРЕСАДА

(підпис)

__»____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Котенку Максиму Геннадійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Дослідження енергетичних характеристик електромеханічної системи ліфтової підйомної установки»,

науковий керівник дисертації: к.т.н., проф., Печеник Микола Валентинович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__»____ 20__ р. №____

2. Строк подання студентом дисертації

3. Об'єкт дослідження: Енергетичні характеристики ліфтової підйомної установки

4. Вихідні дані: $V=1.75$ м/с; $m_T=1150$ кг; $m_K=1450$ кг; $a_{\max}=1.2$ м/с²; $H=60$ м; $\Delta S=0.02$ м; $\Pi=400$ чол/год;

5. Перелік завдань, які потрібно розробити : 1. Аналітичний огляд науково-технічної літератури; 2. Розрахунок елементів ЕМС; 3. Синтез регулятора швидкості; 4. Розробка структури системи керування; 5. Розробка математичної моделі ЕМС; 5. Розробка моделі для дослідження динамічних режимів ЛПУ в MATLAB «Simulink»; 6. Дослідження динамічних режимів ЕМС; 8. Аналіз енергетичних характеристик ЛПУ при варіаціях рівня навантаження; 9. Розробка стартап проекту.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1. Технологічна схема ЛПУ; 2. Структурна схема непрямого векторного керування/Модель для дослідження в MATLAB «Simulink»; 3-6. Графіки досліджень енергетичних характеристик та точності позиціонування ЛПУ .

7. Орієнтовний перелік публікацій: проф. Печеник М.В., доц. Бур'ян С.О., студент Котенко М.Г. Аналіз впливу завантаження кабіни ліфтової підйомної установки на точність відпрацювання заданої діаграми швидкості.

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

9. Дата видачі завдання: 02.09.2020

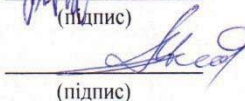
Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістрської дисертації	Термін виконання етапів магістрської дисертації	Примітка
1	Аналітичний огляд науково-технічної літератури	20.09.2020	
2	Розрахунок елементів ЕМС	25.09.2020	
3	Синтез регулятора швидкості	26.09.2020	
4	Розробка структури системи керування	5.10.2020	
5	Розробка математичної моделі ЕМС	15.10.2020	
6	Розробка моделі для дослідження динамічних режимів ЛПУ в MATLAB «Simulink»	25.10.2020	
7	Дослідження динамічних режимів ЕМС	10.11.2020	
8	Аналіз енергетичних характеристик ЛПУ при варіаціях рівня навантаження	15.11.2020.	
9	Розробка стартап проекту	22.11.2020	
10	Оформлення роботи	30.11.2020	

Студент

Науковий керівник дисертації


 (підпис)


 (підпис)

Котенко М.Г.

(ініціали, прізвище)

Печеник М.В.

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація вміщає в себе: сторінок – 128, рисунків – 95, таблиць – 27, 6 листів графічної частини

Метою виконання магістерської дисертації є дослідження енергетичних характеристик електромеханічної системи ліфтової підйомної установки на базі векторно-керованого асинхронного електродвигуна.

При виконанні дипломного проекту були вирішені такі поставлені задачі: виконано аналітичний огляд науково-технічної літератури та конструкцій ліфтових підйомних установок, сформовано вимоги до електроприводу, обгрунтовано та здійснено вибір електродвигуна та елементів електромеханічної системи, розроблена модель електромеханічної системи в програмному середовищі MATLAB Simulink, досліджено характер змін втрат в системі ліфтової підйомної установки а також точності позиціонування в залежності від зміни величини завантаження кабіни.

Реалізація даного дипломного проекту забезпечувалась за допомогою використання наступних програм: MATLAB 2013b, Microsoft Office Word 2016, Splan, Microsoft Visio 2016, Mathtype.

АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ЛІФТ, ПІДЙОМНА УСТАНОВКА, ЧАСТОТНЕ КЕРУВАННЯ

					141.5116.10 МД						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Котенко М.Г..			Реферат			Літ.	Арк.	Аркушів	
Керівник		Печеник М.В.								4	
								НТУУ «КПІ»			
Н. Контроль		Бур'ян С.О.						Каф. АЕМС-ЕП			
Затверд.		Пересада С. М.									

SUMMARY

Master's diploma work contains: 128 pages, 95 figures, 27 tables, 6 sheets of the graphic part.

The purpose of the master's dissertation is researching of energy characteristics of the electromechanical system of the elevator lifting system based on a vector-controlled asynchronous electric motor.

During the diploma project the following tasks were solved: analytical review of scientific and technical literature and structures of elevators, formed requirements for electric drive, substantiated and selected electric motor and elements of electromechanical system, developed a model of electromechanical system in software environment MATLAB «Simulink», provided research of changes of losses in the elevating system but also accuracy of positioning depending on change of size of loading of a cabin.

The implementation of this diploma project was provided through the use of the following programs: MATLAB 2013b, Microsoft Office Word 2016, Splan, Microsoft Visio 2016, Mathtype.

ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE, ALGORITHM OF
ASYNCHRONAL ENGINE CONTROL, MATHEMATICAL MODELING,
DYNAMIC CHARACTERISTICS, ELEVATOR, LIFTING PLANT,
FREQUENCY CONTROL

					141.5116.10 МД			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Котенко М.Г.			Summary	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Печеник М.В.					5	
						HTVY «KIII»		
Н. Контроль		Бур'ян С.О.				Каф. АЕМС-ЕП		
Затверд.		Пересада С. М.						

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	10
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	13
1.1 Етапи історичного розвитку вертикального транспорту та сучасні тенденції розвитку	13
1.2 Класифікація ліфтових підйомних установок	16
1.3 Кінематичні схеми ЛПУ	20
1.4 Характеристика ліфтів	22
1.5. Аналіз режимів роботи ЛПУ	25
1.6 Пристрої безпеки ЛПУ	30
1.6. Вимоги до електроприводів ліфтових підйомних установок	36
1.8. Обґрунтування вибору системи електропривода ЛПУ	37
Висновки до розділу 1	40
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ	41
2.1 Розрахунок підйомних канатів	43
2.2 Розрахунок канатоведучого шківів	43
2.3 Попередній розрахунок потужності двигуна	45
2.4 Розрахунок параметрів двигуна	49
2.5 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення	51
2.6 Вибір перетворювача частоти	54
2.7 Визначення передатного числа редуктора	56
2.8 Розрахунок діаграм зусиль та остаточний вибір двигуна	58
Висновки до розділу 2	61
3 РОЗРАХУНОК КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ МЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ	62

	7
Висновки до розділу 3	66
4 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ	67
4.1 Розрахунок регулятора швидкості	67
4.2 Формулювання задачі векторного керування	71
4.2 Синтез системи непрямого векторного керування швидкістю	73
3.3 Алгоритм непрямого векторного керування АД	77
Висновки до розділу 4	80
5 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЛІФТОВОЇ ПІДЙОМНОЇ УСТАНОВКИ	81
5.1. Розробка моделі для дослідження динамічних режимів системи	81
5.2 Дослідження динамічних характеристик ліфтової підйомної установки при зміні навантаження та наявності періоду дотягування.	82
5.3 Дослідження динамічних характеристик ліфтової підйомної установки без періоду дотягування.	92
5.4. Аналіз результатів досліджень	106
Висновки до розділу 5	106
6 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	107
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	121
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	123

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ

- ЛПУ – ліфтова підйомна установка;
- КВШ – канатоведучий шків;
- ПУБЕЛ – правила устрою та безпечної експлуатації ліфтів;
- ОШ – обмежувач швидкості;
- СПК – слабина підвісних канатів;
- НП – натяжний пристрій;
- ЕМС – електромеханічна система;
- (a-b) – позначення стаціонарної системи координат;
- (d-q) – позначення системи координат ротора;
- (u_{1a}, u_{1b}) – компоненти вектора напруги в системі координат (a-b);
- (u_d, u_q) – компоненти вектора напруги в системі координат (d-q);
- (i_{1a}, i_{1b}) – компоненти струму статора в системі координат (a-b);
- (i_d, i_q) – компоненти струму статора в системі координат (d-q);
- θ – кутове положення ротора;
- ω_0 – кутова швидкість обертання системи координат (d-q);
- ω_2 – кутова швидкість ковзання;
- ω – кутова швидкість ротора;
- M – електромагнітний момент асинхронного двигуна;
- M_c – момент навантаження;
- $|\psi|$ – модуль вектора потокозчеплення ротора;
- $\tilde{\psi}$ – похибка відпрацювання модуля потокозчеплення ротора;
- R_1 – активний опір статора;
- R_2 – активний опір ротора;
- L_1 – індуктивність статорної обмотки;
- L_2 – індуктивність роторної обмотки;
- L_m – індуктивність контуру намагнічування;

p_n – кількість пар полюсів;

U_{DC} – напруга ланки постійного струму;

(i_d^*, i_q^*) – задані значення струмів по осям d і q ;

(k_{id1}, k_{iid}) – пропорційна та інтегральна складові регулятора струму по осі d ;

(k_{iq1}, k_{iiq}) – пропорційна та інтегральна складові регулятора струму по осі q ;

(k_v, k_{vi}) – пропорційна та інтегральна складові регулятора напруги;

ВСТУП

Ліфт став невід'ємною частиною штучно створеного середовища проживання людини технократичної цивілізації. Менше ніж за півтора століття вдалося створити повністю автоматизовану систему внутрішнього транспорту пасажирів і вантажів в будівлях і спорудах, яка надійно функціонує, не вимагаючи від користувачів спеціальних знань і попередньої підготовки.

В Україні, в країнах ближнього і далекого зарубіжжя успішно функціонує величезний парк ліфтів різного конструктивного виконання, який забезпечує потреби комунального господарства, промислових підприємств і складних споруд громадського та спеціального призначення.

Потреби суспільного розвитку, які постійно розширюються, вимагають безперервного вдосконалення засобів внутрішнього транспорту будівель і споруд на основі сучасних науково-технічних досягнень.

Зростаючий парк ліфтів та інших засобів ближнього транспорту вимагає безперервного вдосконалення техніки монтажу та технічного обслуговування цих машин з метою підвищення надійності і безпеки застосування.

Актуальність роботи. Ліфтові підйомні установки являються одними з найбільш поширених засобів вертикального переміщення людей і вантажів та застосовуються як в житлових, промислових, адміністративних будівлях, так і для підземних вугільних та гірничо-рудних підприємств.

В теперішній час намітилась тенденція збільшення поверховості споруд, що призводить до підвищення рівня вимог безпеки, які висуваються до ліфтових підйомних установок (ЛПУ).

В даних умовах підвищуються вимоги до статичних і динамічних характеристик електроприводів, до точності відпрацювання заданих траєкторій руху, а також до рівня енергоефективності установок в цілому.

Вказані вимоги визначають необхідність використання новітніх досягнень як у конструкторській частині окремих вузлів та механізмів ЛПУ

так і в частині застосування сучасних систем електроприводів, в тому числі і дослідження векторно-керованих асинхронних електродвигунів.

Разом з цим для рекомендації по використанню нових систем електроприводів ЛПУ необхідно переконатися, що вони в повній мірі задовольняють всім переліченим вимогам технологічного процесу.

Таким чином досить актуальною є задача досліджень статичних і динамічних характеристик електроприводів та аналіз їх на предмет відповідності вимогам зі сторони технологічного процесу транспортних систем вертикального руху.

Мета та задачі роботи. Метою роботи є проведення дослідження точності позиціонування та рівня втрат енергії ліфтової підйомної установки при зміні величини завантаження кабіни ліфта.

Для досягнення поставлених цілей необхідно потрібно вирішити наступні задачі:

На основі аналізу науково-технічної літератури сформулювати вимоги і виконати вибір електропривода.

Розробити математичну модель електромеханічної системи ЛПУ.

Отримати модель для дослідження динамічних і статичних характеристик ЛПУ.

Виконати дослідження точності позиціонування і характеру зміни втрат енергії ЛПУ при варіаціях завантаження кабіни ліфта.

Виконати розробку стартап-проекту.

Об'єктом дослідження є енергетичні процеси процеси, що відбуваються в ЛПУ на основі асинхронного електродвигуна з векторним керуванням.

Предметом дослідження є ліфтова підйомна установка на основі векторно-керованого асинхронного двигуна.

Методи досліджень. Використано положення теорії автоматичного керування, теорії електроприводу, а також проведені дослідження методом математичного моделювання в програмному середовищі MATLAB «Simulink».

Практична цінність. Отримані моделі дозволяють проводити дослідження динамічних та статичних характеристик ліфтових підйомних установок при використанні електроприводів з векторним керуванням.

Аналіз результатів досліджень показав доцільність використання систем електроприводів з векторно-керованими асинхронними двигунами в ліфтових підйомних установках.

Апробація результатів роботи. Основні результати роботи розглядались на XIV Міжнародній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів ФЕА «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики» (Київ, 2020).

Публікації. По роботі була написана стаття прийнята для публікації в електронному збірнику наукових робіт ФЕА НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» на тему «Аналіз впливу завантаження кабіни ліфтової підйомної установки на точність відпрацювання заданої діаграми швидкості».

Обсяг і структура дисертації. Магістерська робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, переліку посилань. Повний обсяг дисертації становить 129 сторінки, 95 рисунки, 27 таблиці.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Етапи історичного розвитку вертикального транспорту та сучасні тенденції розвитку

В даний час будь-яке велике місто немислиме без підйомних механізмів, найпоширенішим з яких є ліфт.

Механізми для підйому людей і вантажів існували в далекій давнині. Так, давньоримський архітектор Вітрувій (I ст. н.е.), який створював механізми для підйому воїнів і вантажів, в своїх працях згадував підйомний механізм, побудований Архімедом (236 р. до н.е.). Кабіна цього апарату підвішувалася на канатах і приводилася в рух мускульною силою людей і тварин.

Відомі підйомники з канатної підвіскою кабіни, що застосовувалися в VI ст. в Синайському монастирі в Єгипті і в XIII в. у Франції (літаючий стілець Велайера), підйомник Віндзорського замку в Англії (XVIII ст.).

У 1793 р російський умілець І.П. Кулібін розробив конструкцію гвинтового підйомника для Зимового палацу. Пізніше він сконструював для нього парову машину. Але ліфтобудування як галузі ще не існувало. Ліфти того часу були унікальні і масового застосування не знаходили.

У 1852 році в США брати Отіс винайшли «уловлювач» – пристрій, що зупиняє кабінку в момент обриву всіх тягових канатів. Від цього винаходу бере початок сучасне ліфтобудування. Ліфти, що встановлюються в житлових будинках, перестали бути небезпечною екзотичної іграшкою. В якості приводу в той час застосовувалася парова машина.

Після винаходу в 1878 р обмежувача швидкості, який в разі перевищення кабіною заданої швидкості включав уловлюючий пристрій, застосування ліфтів в цивільному будівництві почало стрімко розширюватись.

У 1880 р в Німеччині Сіменс вперше побудував ліфт з рейковою напрямною та живленням від електродвигуна постійного струму (рис 1.1).



Рисунок 1.1 – Перший ліфт з живленням від електродвигуна

До кінця XIX ст. в якості підйомного механізму застосовувалися лебідки, в яких канати намотувалися на барабан. При цьому канати жорстко кріпилися до барабану, а їх кількість не перевищувала двох. Розміри барабана залежали від висоти підйому і максимально можливої маси вантажу, що піднімається. При виникненні несправностей в системі керування ліфтом потужна лебідка затягувала кабінку під верхнє перекриття шахти.

Таких недоліків був позбавлений винайдений в кінці XIX ст. канатоведучий шків (КВШ), завдяки якому стало можливим застосування підвіски кабінки з великою кількістю гілок канатів, що підвищило надійність і безпеку користування ліфтом. Параметри КВШ не залежали від висоти підйому кабінки, і це дозволило виробити стандарти на вузли ліфта, уніфікувати їх, забезпечивши тим самим виконання необхідної умови для серійного виробництва ліфтів.

Кабіна утримувалася на КВШ за рахунок сил тертя між канатом і ободом КВШ. Завдяки цьому була виключена небезпека затягування кабін під верхнє перекриття шахти: канати просто проковзували в ободі шківів.

В даний час намітилися наступні напрямки розвитку галузі[1]:

- використання досягнень в області електроніки і мікропроцесорної техніки в системах управління ліфтами;
- комбіноване застосування в будівлях і спорудах ліфтів, багатокабінних підйомників, ескалаторів і пасажирських конвеєрів;
- використання методів комп'ютерної обробки інформації, впровадження мікропроцесорної системи самодіагностики ліфтів для підвищення ефективності систем їх технічного обслуговування;
- застосування системи автоматизованого проектування ліфтів;
- впровадження в технологію виготовлення ліфтів робототехніки;
- пошук нових технологічних рішень і механізація трудомістких процесів для підвищення ефективності і якості монтажу ліфтів;
- модернізація раніше встановленого обладнання;
- пошук способів підвищення надійності пристроїв, що забезпечують безпечну роботу ліфтів;
- проведення досліджень щодо вдосконалення систем приводу і розширенню сфери застосування приводу змінного струму з амплітудно-частотним і векторним керуванням;
- зниження вібрації і рівня шуму в кабіні ліфта та самій будівлі шляхом вдосконалення конструкції всіх систем устаткування ліфтів;
- розробка вандалостійких варіантів посадкових майданчиків, конструкції кабін і їх дизайну;

- використання нових конструкційних та оздоблювальних матеріалів, в тому числі композиційних;
- підвищення якості виготовлення, зниження вартості масового виробництва і експлуатаційних витрат на основі уніфікації та стандартизації ліфтового обладнання;

1.2 Класифікація ліфтових підйомних установок

Ліфт є унікальним транспортним засобом, призначеним для перевезення людей і вантажів. На відміну від інших транспортних засобів масового перевезення людей і вантажів (автобуси, тролейбуси, метро і т.д.), управління якими здійснюється спеціально підготовленим персоналом, ліфтом управляє сам пасажир або персонал, якому не потрібна висока кваліфікація. Тому управління ліфтом повинне бути простим, надійним і зручним.

Незважаючи на це, ліфт є складним електромеханічним пристроєм підвищеної небезпеки. До проектування, виготовлення, монтажу та технічного обслуговування якого в процесі експлуатації висуваються жорсткі вимоги, сформульовані в «Правилах устрою і безпечної експлуатації ліфтів» (ПУБЕЛ).

Згідно ПУБЕЛ, ліфт – це стаціонарна вантажопідйомна машина періодичної дії, призначена для підйому і спуску людей і (або) вантажів у кабіні, що рухається по жорстким прямолінійним направляючому, у яких кут нахилу до вертикалі не перевищує 15° .

Існує багато ознак, за якими класифікують ліфти. Розглянемо найбільш поширені з них [2].

По виду вантажів, що транспортуються ліфти поділяються наступним чином:

- 1) пасажирські:
 - для житлових будинків;
 - громадських будівель;

- будівель промислових підприємств, які використовуються для транспортування людей і предметів побуту, якщо їх маса не перевищує вантажопідйомність ліфта;
- 2) лікарняні, призначені для транспортування хворих, в тому числі на транспортних засобах і з супроводжуючим персоналом; цими ліфтами управляє ліфтер;
- 3) інвалідні (являють собою пасажирські ліфти самостійного користування, які призначені для підйому і спуску інвалідів з порушенням функцій опорно-рухового апарату);
- 4) вантажні, призначені для вертикального переміщення вантажів, в тому числі:
 - звичайні вантажні;
 - вантажні з монорельсом. У цих ліфтах під стелею кабіни встановлюють балку (монорельс), до якої підвішують вантажопідйомний пристрій (таль, тельфер і т. д.);
 - вижимні, в яких підвісні канати зачальюються під кабіною і підйомна сила прикладена до низу кабіни;
 - вантажні малі, призначені для підйому і спуску невеликих вантажів. Для виключення можливості транспортування в них людей кабіну розраховують на перевезення вантажів масою не більше 250 кг, а її висота не повинна перевищувати 1250 мм;
- 5) спеціальні (нестандартні), для особливих умов застосування, що виготовляються відповідно до спеціально розроблених технічних умов.

За способом обслуговування бувають ліфти

- 1) самостійного користування (управляє сам пасажир);
- 2) ліфти, які супроводжує ліфтер або провідник.

За швидкістю руху кабіни ліфти поділяють на

- 1) тихохідні (до 1 м / с);

- 2) швидкохідні (від 1 до 2 м / с);
- 3) швидкісні (від 2 до 4 м / с);
- 4) високошвидкісні (понад 4 м / с).

За типом приводу підйомного механізму ліфти можуть бути

- 1) електричними (з приводом від електродвигуна змінного або постійного струму)
- 2) гідравлічними (з гідроприводом поступального руху, робоча рідина в якому подається електронасосом).

Залежно від типу шахти ліфти поділяють на виконані:

- 1) в глухий шахті;
- 2) металлокаркасною шахті;
- 3) комбінованої шахті.

За конструкцією дверей шахти і кабіни розрізняють ліфти:

- 1) з розпашними дверима;
- 2) з розсувними дверима.

По виду приводу дверей існують ліфти:

- 1) з ручним приводом (двері шахти і кабіни відкриває сам пасажир);
- 2) автоматичним приводом;
- 3) комбінованим приводом (двері відкриваються вручну, а закриваються автоматично за допомогою доводчика).

Залежно від конструкції тягового органу ліфти поділяють на:

- 1) канатні;
- 2) ланцюгові, в яких використовується ланцюг Галля;
- 3) стрічкові;
- 4) гвинтові, оснащені передачею гвинт-гайка;
- 5) плунжерні;
- 6) рейкові, в яких застосовується приводна шестерня і зубчаста рейка.

Залежно від характеру впливу канатів на кабінку розрізняють ліфти:

- 1) з верхньої канатної підвіскою;
- 2) вижимні, в яких тягові канати охоплюють кабінку знизу.

За схемою запасування тягових канатів ліфти виконують:

- 1) з прямою підвіскою;
- 2) поліспастной підвіскою;
- 3) канатним мультиплікатором.

Машинне приміщення ліфта може бути виконано:

- 1) над шахтою;
- 2) під нею або збоку від неї;
- 3) без машинного приміщення.

За способом передачі руху від канатоведущого органу лебідки до тягових канатів ліфти бувають:

- 1) з КВШ;
- 2) барабаном;
- 3) зірочкою.

За наявністю редуктора:

- 1) з редуктором;
- 2) без редуктора.

Ліфт може мати наступні види управління:

- 1) внутрішнє (керування відбувається з середини кабінки);
- 2) зовнішнє (здійснюється з зупинкових майданчиків);
- 3) змішане (з кабінки і з зупинкових майданчиків).

Розрізняють системи управління, що забезпечують:

- 1) просте роздільне управління (сприймається і виконується тільки одна команда);

- 2) збірне управління (системою сприймаються всі команди, але виконання відбувається у відповідності до алгоритму роботи ліфта);
- 3) одиночне управління (управління одним ліфтом);
- 4) групове – управління групою ліфтів, розташованих в одній шахті, які обслуговують ті самі поверхи та переміщуються з однаковою швидкістю.

1.3 Кінематичні схеми ЛПУ

Кінематичною схемою ліфта називають принципову схему взаємодії підйомного механізму з рухомими частинами ліфта – кабіною і противагою.

На рис.1.2 представлені найбільш розповсюджені принципові кінематичні схеми ліфтів, що розрізняються розташуванням лебідок в будівлі, конструкцією канатоведучого органу і частково призначенням [3].

На рис.1.2. прийнято наступні позначення:

а – нижнє розташування барабанної лебідки; б – верхнє розташування барабанної лебідки; в, г, и, к – верхнє розташування лебідки з противагою; д, з – нижнє розташування лебідки з противагою; е, ж – верхнє розташування лебідки з канатоведучим шківом і контршківом; 1 – кабіна, 2 – відповідний блок; 3 – лебідка; 4,6 – противаги; 5 – контршків.

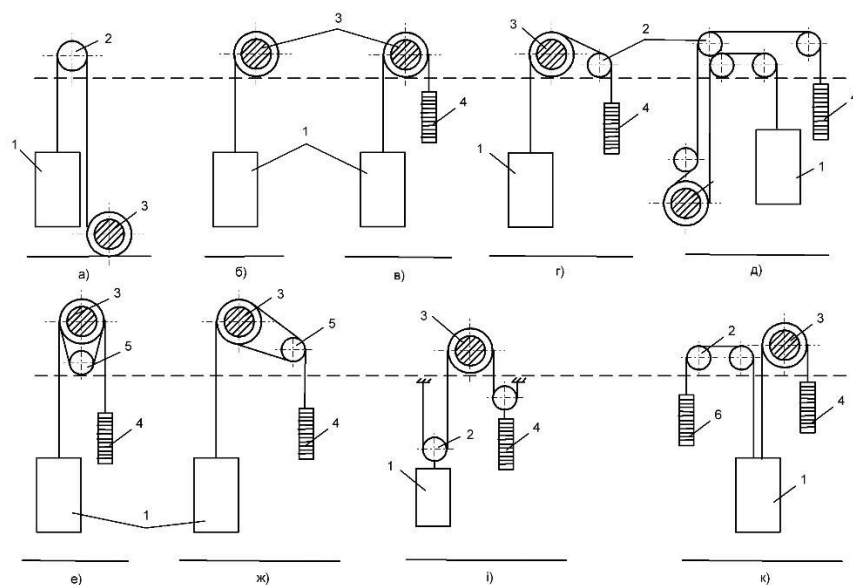


Рисунок 1.2 – Різновиди кінематичних схем ЛПУ

Схеми ліфтів з барабанными приводами без противаг представлені на рис.1.2 (а, б), причому перша схема – з нижнім розташуванням приводу, а друга – з верхнім. Першу застосовують тільки при невеликих розмірах кабіни або значних розмірах діаметра відвідного блоку. Якщо використовують кабіни великих розмірів, то замість одного відвідного блоку встановлюють два, віддалених один від іншого в горизонтальному напрямку на певній відстані.

Однак кожен такий блок створює додатковий перегин каната, що крім зменшення коефіцієнта корисної дії ліфта в цілому скорочує термін служби каната, роблячи установку менш економічно вигідною. Відсутність в схемах на рис.1.2 (а, б) противаг, що врівноважують масу кабіни і частково її корисне навантаження, збільшує необхідну потужність приводу і підвищує витрати енергії на експлуатацію ліфта.

Ліфти з канатоведучими шківками не працюють без противаги, так як вона, натягуючи канати, створює силу тертя між канатами і жолобом канатоведучого шківка, попутно врівноважуючи масу кабіни і частково її корисне навантаження. Тим самим знижується споживана потужність приводу під час експлуатації ліфта. Крім цього лебідки з канатоведучими шківками в деяких умовах можуть мати недостатню силу тертя між канатами і шківом, що може призвести до небажаного проковзування по ньому канатів. Одним із способів збільшення сил тертя є включення до конструкції лебідки контршківка, який при необхідності принципово може бути використаний у всіх ліфтах з канатоведучим шківом. Як приклад на рис.1.2 (е) зображена лебідка з контршківом, а при збільшених габаритних розмірах кабіни в схему включений контршків рис.1.2 (ж), що виконує одночасно і функції відвідного блоку.

На рис.1.2 (з,и) показані схеми з поліспасною підвіскою кабіни і противаги. Першу з них застосовують на вижимних і тротуарних ліфтах, а другу - на пасажирських і вантажних ліфтах підвищеної вантажопідйомності для зменшення зусиль в підйомних канатах[3].

У схемі на рис.1.2 (к) представлений ліфт з додатковою противагою 5. Її застосовують в тих випадках, коли необхідно трохи розвантажити канатоведущій орган, що досягається шляхом передачі частини вагового навантаження кабіни і корисного навантаження на канати додаткової противаги.

1.4 Характеристика ліфтів

Під характеристикою ліфта розуміється комплекс його основних параметрів [4].

Номінальною вантажопідйомністю ліфтів (в кг) називають масу вантажу, що піднімається, на яку розрахований ліфт. В вантажопідйомність ліфта не включають масу кабіни з обладнанням яке постійно знаходяться в та на ній: рейковими шляхами візків, монорельсами, таліями. В вантажопідйомність ліфта входить маса вантажів (ящиків, цебер, ковшів), транспортних засобів (візків, вагонеток) та інших пристроїв, які не перебувають постійно в кабіні.

Швидкість ліфта означає швидкість підйому або опускання його кабіни. Розрізняють декілька швидкостей.

Номінальною швидкістю називається швидкість, на яку розрахований ліфт. Її приймають за технічним завданням на проектування згідно з матеріалами по ліфтобудуванню.

Діапазон номінальних швидкостей сучасних ліфтів масового застосування знаходиться в межах від 0,18 до 4 м/с. Швидкість понад 4 м/с застосовують вкрай рідко, оскільки швидкий підйом і опускання з великим перепадом по висоті негативно позначається на самопочутті пасажирів, іноді викликаючи больові відчуття в слухових органах. До того ж підвищення швидкості не завжди дозволяє істотно збільшити продуктивність ліфта. Ліфти з високими швидкостями застосовують в будівлях підвищеної поверховості. При цьому для більш ефективного використання цих ліфтів нижні поверхи

вони не обслуговують. Для них передбачають більш прості і дешеві ліфти з меншими швидкостями.

Робочою швидкістю називають фактичну швидкість ліфта в експлуатаційних умовах. Вона змінюється в залежності від напруги в електромережі, маси корисного навантаження, опору рухомих частин ліфта. Так як у електродвигунів, лебідок та інших елементів ліфтів технічні дані різні, то робочі швидкості однаково навантажених ліфтів відрізняються від номінальних[5].

Гранична швидкість ліфта – це найбільша швидкість, при якій обов'язково повинні спрацьовувати аварійні пристрої (пристрій обмежувача швидкості та уловлювачі). Діапазон швидкостей, при яких спрацьовують уловлювачі, знаходиться в межах 15% – 40% перевищення номінальної швидкості ліфта.

Ревізійною швидкістю називають швидкість, при якій оглядають елементи ліфта, розташовані всередині шахти, з даху кабіни. Ревізійна швидкість повинна бути не більше 0,36 м/с, однак для ліфтів з номінальною швидкістю в межах 0,71 м/с і з приводом, що не забезпечує знижену швидкість, допускається здійснювати ревізію на номінальній швидкості, але тільки при русі вниз.

Зупиночною швидкістю ліфта називається швидкість кабіни, при якій лебідка знеструмлюється і загальмовується до повної зупинки. Зупиночна швидкість характерна для ліфтів з двошвидкісними лебідками. Щоб отримати необхідну точність зупинки кабіни, перед зупинкою ліфт переводять з порівняно високою робочою швидкості на знижену (зупиночну).

Продуктивність пасажирських і вантажних ліфтів визначає кількість пасажирів або вантажів, що транспортуються ліфтом в одному напрямку за одну годину. Вона залежить від площі підлоги кабіни і ступеня її заповнення, часу входу і виходу пасажирів або завантаження і розвантаження вантажів,

висоти підйому і номінальною швидкості ліфта, від часу відкриття і закриття дверей і операцій з управління ліфтом.

Продуктивність ліфтів використовують для розрахунку пасажиро- або вантажопотоків, вантажопідйомності ліфтів і кількості їх в будівлі.

В загальному циклі пасажирського і вантажного ліфтів з частими зупинками основний відрізок часу йде на операції, пов'язані з зупинками. Тому збільшення номінальної швидкості ліфта значно здорожує його вартість і не дає пропорційного підвищення продуктивності [4].

Прискорення або уповільнення кабіни ліфта має суттєве значення для оцінки якості роботи ліфта. Прискорення виникають головним чином на початку руху кабіни, тобто під час пуску (розгоні) ліфта, а уповільнення – при його зупинці. Високі прискорення або уповільнення скорочують час розгону і зупинки ліфта, підвищуючи тим самим його продуктивність. Однак дуже високі прискорення створюють додаткові навантаження на пасажирів, викликаючи негативну дію на організм людини (запаморочення, нудоту, стиснене дихання і больові відчуття). Тому максимально допустимі прискорення (м/с^2) обмежені наступними найбільшими значеннями при нормальній зупинці ліфта.

В екстрених випадках у разі зупинки кнопкою «Стоп» уповільнення не повинно перевищувати 3 м/с^2 , а в аварійних випадках під час посадки кабіни і противаги на уловлювачі або буфера не більше 25 м/с^2 . Допускається перевищення цієї величини, якщо час його дії становить не більше $0,04 \text{ с}$.

Оскільки допустимі уповільнення при гальмуванні ліфта обмежені, то з ростом номінальних швидкостей ліфтів збільшуються шляхи гальмування і, отже, зменшується точність зупинки. Так, наприклад, при уповільненні $1,5 \text{ м/с}^2$ для швидкості кабіни в момент накладення гальма $0,15 \text{ м/с}$ точність зупинки складе $K = \pm 10 \text{ мм}$, для швидкості кабіни $0,5 \text{ м/с}$ точність зупинки буде $K = \pm 50 \text{ мм}$, а для швидкості кабіни $0,8 \text{ м/с}$ до $\pm = 120 \dots 150 \text{ мм}$. Тому підвищення швидкості ліфта з одношвидкісним двигуном обмежується

необхідною точністю зупинки кабіни. Однак якщо необхідно підвищити номінальну швидкість ліфта до 1 ... 2 м/с, то застосовують двошвидкісний двигун, що забезпечує потрібну номінальну швидкість, на якій кабіна проходить практично весь шлях між зупинками, а перед зупинкою двигун перемикають на зупиночну швидкість (в 4 ... 8 разів менше номінальної). На цій швидкості відключають лебідку від електроживлення. При цьому відбувається накладення механічного гальма.

1.5. Аналіз режимів роботи ЛПУ

Система керування ліфтом забезпечує обслуговування вимог пасажирів (наказів з кабіни або викликів з поверхових постів), вирішуючи при цьому ряд логічних задач, пов'язаних насамперед з правильним вибором напрямку руху в залежності від взаємного положення поверху знаходження кабіни і поверху призначення, з урахуванням відмінностей умов виконання наказів і викликів, з необхідністю забезпечення безпеки пасажирів під час роботи ліфта, а також з особливостями роботи ліфта в різних режимах (в машинному приміщенні є перемикач режимів)[7].

У режимі «Нормальна робота» забезпечується прибуття і зупинка кабіни на поверх виклику, відкривання дверей і, після заходу пасажирів в кабіну, подальший рух за наказами. Після звільнення кабіни на поверсі призначення двері закриваються, ліфт знову готовий до роботи за викликами (іноді можлива також зупинка за попутними викликами).

У режимі «Управління з машинного приміщення» оператор може проконтролювати працездатність основних елементів і пристроїв ліфта, керуючи їм з машинного приміщення. У цьому режимі, з метою забезпечення безпеки, повинні бути виключені можливість роботи за викликами і наказам і можливість відкривання дверей (розриваються ланцюга живлення кнопок наказів і викликів і ланцюга живлення реле відкривання дверей).

У режимі «Ревізія» може бути реалізована інспекційна поїздка оператора на даху кабіни з метою контролю і профілактики обладнання шахти. При

цьому для ліфтів з номінальною швидкістю більше 0,71 м/с швидкість руху повинна бути не більше 0,4 м/с в цьому режимі, тобто для двошвидкісних ліфтів рух має здійснюватися з «малою» швидкістю, а можливість роботи з «великою» швидкістю повинна бути виключена. Виключається можливість руху за командами керування від кнопкових апаратів, встановлених в кабіні (накази), на посадкових майданчиках (виклики) і в машинному приміщенні. Управління рухом «вгору» і «вниз» здійснюється за допомогою встановленого на даху кабіні додаткового кнопкового поста, причому рух можливий тільки при затиснутій кнопці (використання, наприклад, залипаючих кнопок виключається).

Обов'язковими режимами останнім часом стали також режим «Пожежна небезпека» і режим «Перевезення пожежних підрозділів». Перший з них забезпечує примусовий рух кабін на основний (зазвичай – перший) поверх без зупинки по попутним викликам при спрацьовуванні системи пожежної небезпеки, а другий дозволяє управляти кабіною при наявності відповідних ключів у представників пожежної команди.

Іноді застосовується також режим «Завантаження» (особливо в вантажно-пасажирських ліфтах), при якому виключається можливість роботи за викликами, виключається можливість автоматичного закривання дверей після закінчення витримки часу, а управління здійснюється тільки за наказами.

У сучасних ліфтах застосовується також режим «Аварія», при якому оператор має можливість відновити працездатність ліфта при знаходженні його в деяких аварійних ситуаціях (зняття кабін з уловлювачів або виведення її в робочу зону при аварійному виході з неї).

Важливою характеристикою роботи ліфта в режимі «Нормальна робота» є різні можливості системи управління щодо виконання зупинок кабін по попутним викликам. Розрізняють системи управління без збірною управління, з одностороннім збірним керуванням (при русі кабін вниз) і з повним збірним керуванням (при русі кабін і вгору, і вниз).

При використанні системи без збірної управління кабіна направляється на перший (за часом) з викликів, а ті виклики що надійшли пізніше не приймаються і не виконуються. Можливість реєстрації і виконання нового виклику з'являється тільки після звільнення кабіни, навіть якщо нові виклики є попутними. Таке рішення забезпечує найбільш просту реалізацію схеми управління, але пропускна здатність ліфта при цьому невелика. Застосовується в вантажних і лікарняних ліфтах, а також в пасажирських ліфтах для будівель малої і середньої поверховості.

Ліфти з одностороннім збірним керуванням реєструють виклики з усіх поверхів. Якщо кабіна перебуває на поверсі нижче поверхів викликів, то кабіна направляється на поверх найвищого виклику, а потім, рухаючись за наказом вниз, зупиняється на поверхах попутних викликів, підбираючи пасажирів з цих поверхів (якщо кабіна не завантажена повністю і може прийняти додатково пасажирів). Таке управління з високим ступенем ймовірності відповідає характеру переміщення пасажирів в житлових будинках, тому і застосовується тут при високій поверховості цих будівель.

При використанні повного збірної управління на кожному поверсі встановлюються дві кнопки («вгору» і «вниз»), за допомогою яких пасажир може ввести в систему управління інформацію про потрібний йому напрямку переміщення. Кабіна, що рухається повз цього поверху, зупиняється, якщо напрямок її руху збігається з необхідним для пасажирів з цього проміжного поверху. Ускладнення схеми виправдовується підвищенням пропускної спроможності ліфта. Застосовується в пасажирських ліфтах громадських і адміністративних будівель.

У будівлях підвищеної поверховості з напруженими пасажиропотоками встановлюють кілька ліфтів. При цьому потрібне узгодження роботи цих ліфтів за викликами, основним завданням якого є підвищення продуктивності ліфтів, зменшення холостих пробігів і пов'язане з ними зменшення витрати енергії і зносу ліфтів, зменшення середнього часу очікування кабіни

пасажирями. Ці завдання вирішуються системами групового управління. Алгоритм управління та реалізація цих систем залежать від типу будівлі і характеру пасажиропотоку і істотно розрізняються у різних ліфтових фірм, проте є ряд умов при роботі в даному режимі[8]:

- виключається направлення на поверх виклику більше однієї кабіни;
- виконання виклику на певний поверх призначається не повністю завантаженій кабіні, яка рухається в необхідному напрямку або, якщо такої немає, найближчій вільній кабіні;
- перша з звільнених кабін автоматично направляється на поверх найбільшого потоку (зазвичай – перший), а решта кабін після звільнення залишаються на поверхах, на яких вони прийшли за наказами.

В адміністративних будівлях при груповому управлінні можуть використовуватися також «Ранковий» і «Вечірній» режими для збільшення ефективності переміщення пасажирів перед початком робочого часу і по його закінченні. У «ранковому» режимі відключаються всі виклики, крім першого поверху, кабіни розвозять пасажирів по наказам з першого на інші поверхи, а вивільнені кабіни автоматично направляються на перший поверх. У «Вечірньому» режимі кабіна рухається на поверх найвищого виклику без зупинок на проміжних поверхах, а потім рухаються вниз за наказом із зупинками на проміжних поверхах, якщо вона не повністю завантажена, тобто реалізується режим одностороннього збірного управління[9].

Незважаючи на велику різноманітність засобів реалізації систем управління ліфтами, алгоритмічна основа близька внаслідок однотипності вирішуваних завдань. Для одиночного ліфта в режимі нормальної роботи блок-схема системи управління може бути представлена у вигляді, наведеному на рис.1.3.

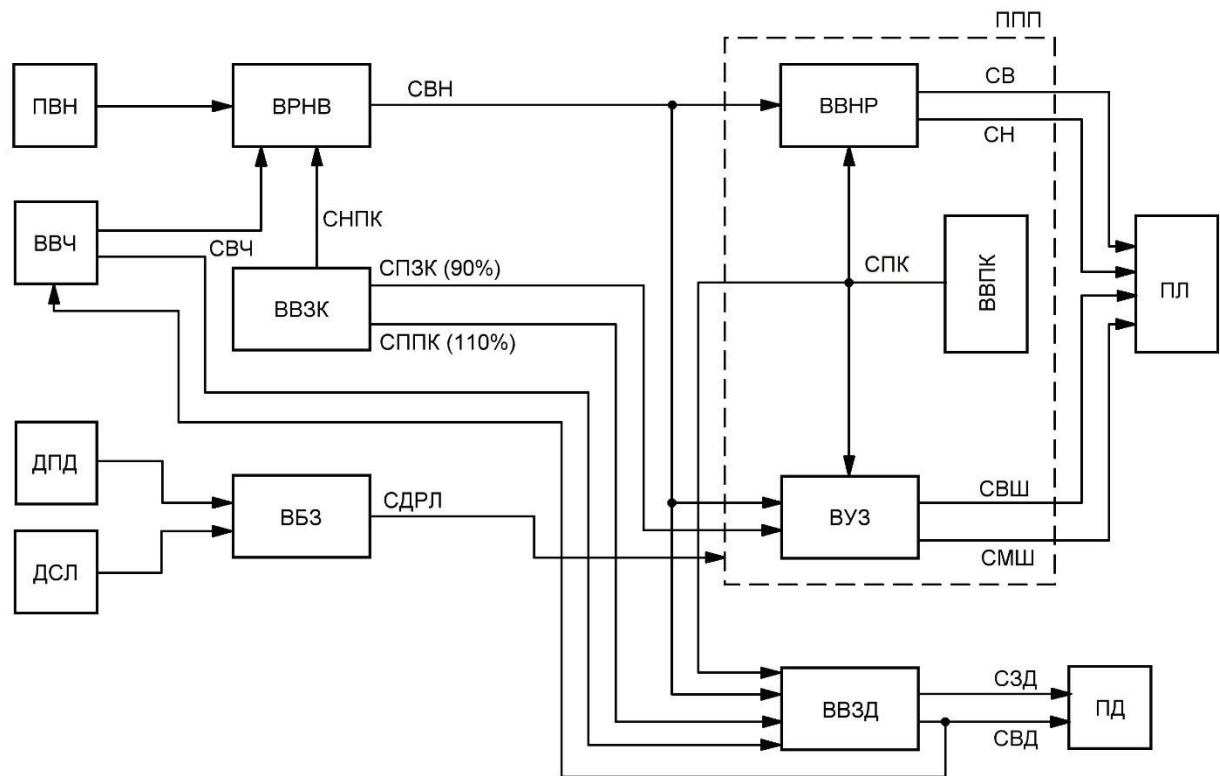


Рисунок 1.3 – Блок-схема структури керування одиночним ліфтом

ПЛ – привід ліфта, ПД – привід дверей, ПВН – пости викликів і наказів, VRNB – вузол реєстрації наказів і викликів, VVNR – вузол вибору напрямку руху, VVPK – вузол визначення положення кабіни, VUZ – вузол уповільнення і зупинки, ДПД – датчики положення дверей, ДСЛ – датчики стану ліфта, VBZ – вузол блокувань і захистів, VBCH – вузол витримки часу, VBZD – вузол відкривання і закривання дверей, ППП – позиційно-погоджувальний присрій, СВ – сигнал руху вгору, СН – сигнал руху вниз, СВШ – сигнал великої швидкості, СМШ – сигнал малої швидкості, СЗД – сигнал закривання дверей, СВД – сигнал відкривання дверей, СВЧ – сигнал витримки часу, СВН – сигнали про виклики і накази, СНПК – сигнал про наявність пасажирів в кабіні, СПЗК – сигнал про повну завантаження кабіни, СППК – сигнал про перевантаження кабіни, VBZK – вузол визначення завантаження кабіни, СДРЛ – сигнал дозволу роботи ліфта, СПК – сигнал положення кабіни.

1.6 Пристрої безпеки ЛПУ

1.5.1. Обмежувач швидкості (ОШ)

Обмежувач швидкості являє собою автоматичний пристрій, призначений для приведення в дію уловлювачів при аварійному перевищенні швидкості руху кабіни (противаги) вниз або вгору [10].

Згідно з вимогами ПУБЕЛ [6] обмежувач швидкості повинен спрацьовувати, якщо швидкість руху кабіни вниз перевищить номінальну не менше ніж на 15% і не більше ніж: а) на 40% для ліфтів з номінальною швидкістю кабіни від 0,5 до 1,6 м/с включно; б) на 33% при номінальній швидкості більше 1,6 м/с до 4 м/с включно; в) на 25% при номінальній швидкості більше 4 м/с; г) до 0,7 м/с для ліфта з номінальною швидкістю менше 0,5 м/с.

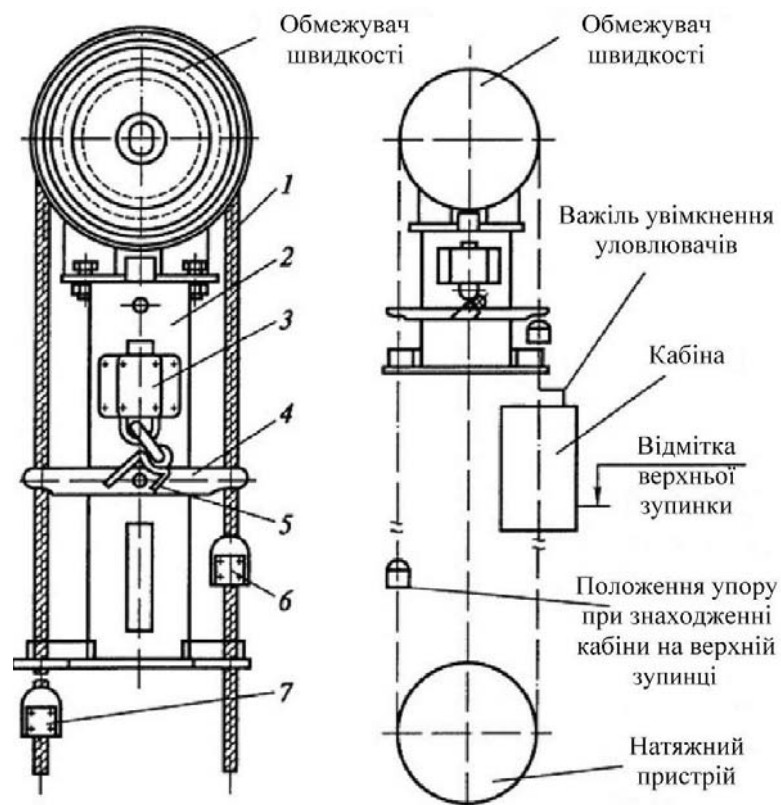


Рисунок 1.4 – Схема взаємодії обмежувача швидкості з уловлювачами

1 – канат обмежувача швидкості; 2 – опорна рама; 3 – кінцевий вимикач; 4 – важіль; 5 – відводка ролика; 6, 7 – упори.

Схема взаємодії ОШ з уловлювачами представлена на рис.1.3. Обмежувач швидкості розміщується в машинному приміщенні і встановлений на опорній рамі 2. На цій же рамі встановлюють кінцевий вимикач 3, який розмикає ланцюг безпеки ліфта у випадках, коли кабіна підніметься вище рівня верхньої зупинки або опуститься нижче рівня нижньої зупинки. На канаті обмежувача швидкості закріплені два упори, розташовані так, що упор 6 при проходженні кабіною крайнього верхнього положення піднімає праве плече важеля 4, що відключає за допомогою відведення ролика 5 кінцевий вимикач 3, а упор 7 при проходженні кабіною крайнього нижнього положення піднімає ліве плече важеля 4 і відключає вимикач 3 [11].

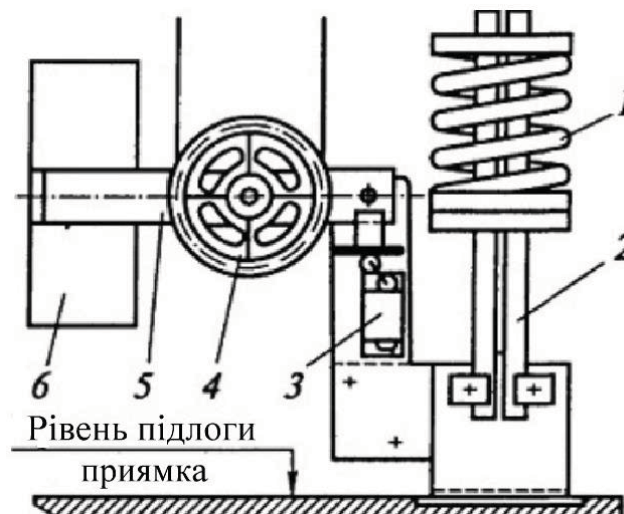


Рисунок 1.5 – Натяжний пристрій обмежувача швидкості

1 – буфер; 2 – напрямна кабіни; 3 – кінцевий вимикач; 4 – блок; 5 – важіль; 6 – вантаж.

Натяжний пристрій (рис.1.5) призначений для створення достатньої сили зчеплення каната зі шківом обмежувача швидкості. Він розміщується в прямку і складається з важеля 5, один кінець якого шарнірно прикріплений до встановленого в шахті кронштейну. На другий кінець надітий вантаж 5. У середній частині важеля встановлений блок 4, в канавки якого укладається канат обмежувача швидкості. Ослаблення або обрив каната контролюється за допомогою кінцевого вимикача 3. Регулювання необхідного натягу каната

досягається шляхом переміщення вантажу уздовж важеля 5. Чим далі знаходиться вантаж від осі підвіски важеля, тим сильніше натяг [12].

1.5.2. Пристрій контролю слабини підвісних канатів (СПК)

Канатними підвісками називаються пристрої, за допомогою яких підвісні канати кріплять до кабіни і противаги.

За способом підвішування кабіни і противаги розрізняють прямі і поліспасти підвіски. Залежно від кількості тягових канатів підвіски поділяють на одно-, двох-, трьох- і багатоканатні. Прямі підвіски поділяють на важельного типу, пружинні і жорсткі [13].

Пружинні підвіски ліфта не забезпечують абсолютної рівномірності розподілу зусиль по канатах, але мають просту конструкцію, меншу металоємність і більшу компактність. Відстань між канатами в ній можна порівняти з відстанями між канавками КВШ.

Всі ці якості пружинної підвіски роблять її незамінною для установки на противовесах і кабінах ліфтів при великій кількості паралельних гілок канатів.

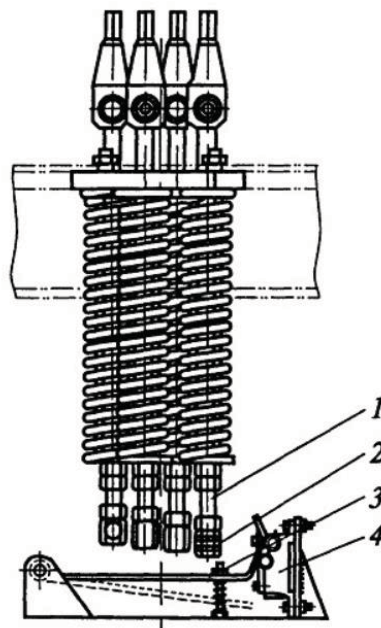


Рисунок 1.6 – Пружинна підвіска

1 – тяга; 2 – гайка регулювання зазору; 3 – система важеля; 4 – вимикач СПК

У пружинної підвісі (рис.1.6) канати кріпляться до тяг 1, що пропускаються через верхню балку кабіни (противаги). На цих болтах встановлені пружини, що гасять вібрації, що виникають при роботі ліфта, особливо в перехідних режимах – пуск, перехід на малу швидкість і гальмування. На тяги нагвинчені гайки і контргайки, за допомогою яких регулюють натяг канатів [14].

У пружинних підвісках кабіни під тягами розташована система важеля 3, яка при послабленні будь-якого каната і опусканні відповідної тяги впливає на вимикач 4 СПК. В процесі експлуатації окремі канати витягуються. За допомогою гайок 2, нагвинчених на кінці тяг 1, регулюється відстань між кінцями тяг і важеля 3. При спрацюванні вимикача СПК ланцюг безпеки розривається і ліфт зупиняється.

1.5.3. Уловлювачі ліфта

Уловлювачі – це пристрій безпеки, призначений для зупинки і утримання на напрямних кабіни або противаги, які рухаються вниз з аварійним перевищенням швидкості, або при обриві всіх тягових елементів. Уловлювачами обладнають кабіни всіх ліфтів, а також противаги, якщо шахта знаходиться над приміщеннями і проходами, де можуть перебувати люди. Система уловлювачів для всіх ліфтів, крім вантажних малих, складається [15]:

- з обмежувача швидкості, що реагує на зміну швидкості і за допомогою каната приводить в дію механізм увімкнення уловлювачів;
- натяжного пристрою обмежувача швидкості, що забезпечує зчеплення каната зі шківом ОШ;
- механізму включення уловлювачів, що забезпечує приведення в дію уловлюючих пристроїв кабіни (противаги);
- уловлюючих пристроїв, які взаємодіють з направляючими, зупиняючи і утримуючи кабіну (противагу).

Допускається використання уловлювачів для гальмування і (або) зупинки кабіни, що рухається вгору, при перевищенні нею номінальної швидкості

більш ніж на 15%. Кабіна ліфта з номінальною швидкістю руху більше 1,0 м/с повинна бути обладнана уловлювачами плавного гальмування [16].

Допускається застосування уловлювачів різкого гальмування для ліфтів, номінальна швидкість руху яких не перевищує 0,63 м/с, і уловлювачів різкого гальмування з амортизаційними прокладками, якщо номінальна швидкість ліфта не більше 1,0 м/с.

Після підйому кабіни, протитяги або врівноважує пристрої кабіни, зупинених уловлювачами, уловлювачі повинні автоматично приймати вихідне положення і бути готовими до роботи.

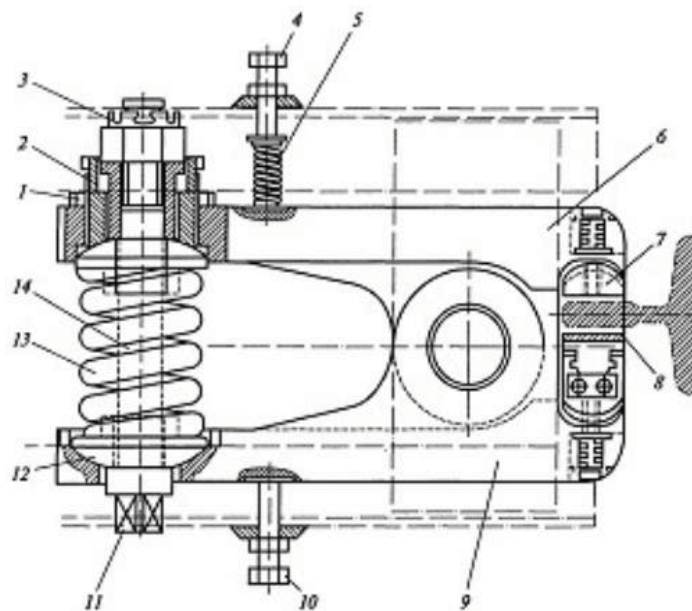


Рисунок 1.7 – Кліщовий уловлювач плавного гальмування.

Конструкція кліщового одностороннього уловлювача приведена на рис. 1.5. Важелі 6 і 9 утворюють кліщі з шарніром, вісь якого кріпиться до рами каркаса кабіни. Між довгими плечима важелів, в сферичних шайбах 12 встановлена пружина 13, затянута за допомогою болта 14 з гайкою 3. Чим більше стиснута пружина 13, тим сильніше гальмівне зусилля і відповідно гальмування. До важеля 6 кріпиться гальмівна колодка 7, а до важеля 9 – колодка, в пазу якої переміщається клин 8. Гальмівна колодка 7 і клин 8 можуть самовстановлюватись всією робочою поверхнею при взаємодії з

направляючою, оскільки мають спеціальні кріплення, що складаються з болтів, пружин та інших елементів [17].

На рамі каркаса встановлені болт 10 і пружина 5, натяг якої регулюється спеціальним болтом 4. За допомогою цих елементів довгі важелі кліщів притискаються до сферичних шайб 12 пружини 13 і здійснюється поворот кліщів навколо своєї осі.

Після спрацювання ОШ механізм включення уловлювачів переміщує клин 8 вгору по пазу колодки, внаслідок чого відбувається затискання направляючої між клином 8 і гальмівною колодкою 6. При цьому довгі плечі важелів сходяться і пружина 13 стискається, створюючи постійне гальмівне зусилля. З цього випливає, що гальмування відбувається з постійною гальмівною силою тертя (рух рівносповільнений).

Величина зазору між клином 8 і гальмівною колодкою 7 регулюється втулкою 2. Втулка ввертається в важіль 6 і впливає на сферичну шайбу 12 пружини 13, внаслідок чого зазор зменшується.

Зазори між направляючою і гальмівною колодкою 7, направляючою і клином 8 повинні бути рівні і регулюються болтом 10. Пружина 5 притискає важелі до торця болта 10 так, що при ввертанні болта кліщі розгортаються за годинниковою стрілкою, а при вивертанні - проти.

Перевагою кліщових уловлювачів є можливість їх легкого переналаштування на необхідну гальмівну силу і установки на напрямні з різною шириною. Дана якість дозволяє обладнати кліщовими уловлювачами кабіни (противаги) практично будь-яких ліфтів, що зумовило їх масове виробництво [18].

До недоліків кліщових уловлювачів слід віднести складність конструкції і можливість порушення в процесі експлуатації раніше виставлених регулювань.

1.6. Вимоги до електроприводів ліфтових підйомних установок

Ліфт повинен бути надійним в роботі, забезпечувати безпеку при користуванні пасажирами і малошумність (для ліфтів використовують спеціальні електродвигуни зі зниженим рівнем шуму), а також зручність і простоту в експлуатації і обслуговуванні [6].

Система електроприводу повинна обмежувати прискорення кабіни (за умовами комфортності для пасажирських ліфтів та відсутності прослизання каната щодо канатоведущого шківів для вантажних). Вона також повинна забезпечувати плавні перехідні процеси при пуску і гальмуванні. Траєкторії швидкості, прискорення і ривка для кабіни ліфта мають бути спроектовані з урахуванням обмеження прискорень і ривків на допустимому рівні.

Для ліфтів з номінальною швидкістю руху кабіни понад 0,71 м/с повинна бути передбачена ревізійна знижена швидкість $V_{PEB} \leq 0.36 \frac{m}{c}$.

Електропривод ліфта повинен забезпечувати точну зупинку кабіни щодо рівня поверхового майданчика (10 ... 20 мм для швидкісних і лікарняних ліфтів, 35 ... 50 мм для інших).

Ліфтова лебідка повинна бути обладнана автоматично діючим гальмом. Для якісного виконання операцій з транспортування пасажирів і вантажів ЕП ліфтів повинен забезпечити [12]:

- реверсивну роботу приводу як в рушійному, так і генераторному режимах;
- стабільність сталої швидкості руху ліфта з точністю не менше $\pm 15\%$ від номінальної швидкості незалежно від завантаження кабіни ліфта і напрямки її руху;
- точність зупинки кабіни ліфта на поверсі незалежно від завантаження кабіни ліфта і напрямки її руху (10 ... 20 мм для швидкісних і лікарняних ліфтів, 35 ... 50 мм для інших);
- мінімальну тривалість перехідних процесів (розгону і уповільнення) при строго обмежених максимальних значеннях прискорення незалежно від завантаження кабіни і напрямки її руху;

– рух кабіни ліфта в режимі ревізії, при якому швидкість не повинна перевищувати 0,36 м/с;

– частота включень в годину для пасажирських ліфтів повинна становити 100-240, а для вантажних - 70-100 при різній тривалості включень (від 15 до 60%)

Схема управління ліфтом повинна відповідати таким вимогам [19]:

– забезпечувати експлуатаційні режими роботи при управлінні з кабіни, при управлінні з машинного приміщення, при виклику кабіни на поверх.

– виключити пуск ліфта при відкритих дверях кабіни і шахти.

– забезпечити безпечну роботу ліфта і зупинку при будь-яких видах аварій

– при спрацьовуванні пожежної сигналізації забезпечити автоматичне опускання кабіни на 1 ий поверх і відкривання дверей.

Крім цього система електроприводу повинна мати такі види захисту [14]:

– від перевищення швидкості;

– від перевантажень по струму;

– від зникнення напруги живлення в ланці керування і силовому ланцюзі;

– від порушення порядку чергування фаз.

Окрім зазначеного, до ліфтів ставляться такі додаткові вимоги: комфортабельність умов транспортування пасажирів; загальнодоступність користування ліфтом; безшумність роботи; допустимий рівень електромагнітних завад при роботі систем радіозв'язку та телебачення.

1.8. Обґрунтування вибору системи електропривода ЛПУ

Для ліфтів застосовуються різні системи електроприводів в залежності від номінальної робочої швидкості, необхідної точності зупинки кабіни, необхідної плавності роботи при розгоні і гальмуванні, вартості виготовлення і експлуатації. Частіше всього для ліфтів використовують електроприводи

змінного струму з перетворювачами частоти і рідше електроприводи постійного струму з керованими перетворювачами [15].

1.8.1. Використання двигунів постійного струму

Двигуни постійного струму діляться на:

- електродвигуни з незалежним збудженням;
- електродвигуни з самозбудженням (паралельні, послідовні або змішані).

Схема ДПТ з незалежним збудженням передбачає підключення обмотки збудження і якоря до різних джерел живлення, так що між собою вони не пов'язані електрично [16].

Паралельне збудження реалізовується шляхом паралельного підключення обмоток індуктора і якоря до одного джерела живлення. Двигуни цих двох типів володіють жорсткими робочими характеристиками. У них частота обертання робочого вала не залежить від навантаження, і її можна регулювати.

При послідовному збудженні як ір і обмотка збудження підключені послідовно, тому значення електричного струму у них однакове. Такі двигуни більш «м'які» в роботі, мають більший діапазон регулювання швидкостей, але вимагають постійного навантаження на вал, інакше швидкість обертання може досягти критичної позначки. У них високе значення пускового моменти, що полегшує запуск, але при цьому швидкість обертання валу залежить від навантаження .

Переваги:

- простота конструкції;
- легкість в управлінні;
- можливість регулювання частоти обертання валу;
- легкий запуск (особливо у двигунів з послідовним збудженням);

Недоліки:

- мають недолік у конструкції – графітові щітки, які швидко зношуються, що обмежує термін служби;
- висока собівартість;
- при підключенні до мережі вимагають наявності випрямлячів струму.

1.8.2. Система перетворювач частоти – асинхронний електродвигун

Поява на ринку перетворювачів частоти сильно змінила технічний розвиток в кращу сторону. Завдяки їм стало можливою висока якість регулювання швидкості асинхронних електродвигунів в порівнянні з системами ТРН-АД (тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун) та іншими системами регулювання швидкості за допомогою зміни напруги в обмотках статора.

Застосування перетворювачів в ліфтовому електроприводі дозволило усунути високі пускові струми при старі, забезпечити дуже точну зупинку кабіни на поверсі. У зв'язку з покращенням характеристик руху кабіни збільшується термін служби механічних частин: тягових канатів, канату підвіски противаги та обмежувача швидкості, гальмівних колодок [18].

Переваги:

- плавний пуск та зміна швидкості обертання валу двигуна у всьому діапазоні частот;
- зменшені втрати на нагрів і намагнічування, підвищений ККД електродвигуна.
- висока точність регулювання швидкості;
- швидка реакція на зміну навантаження;

Недоліки:

- велика обчислювальна складність методів керування, зокрема векторного;
- необхідність точного визначення параметрів електродвигуна для правильної роботи алгоритму керування;

Висновки до розділу 1

Після проведення аналітичного огляду науково технічної літератури, на основі якого сформовано вимоги до електропривода ліфтової підйомної установки та обрано систему електропривода «перетворювач частоти – асинхронний двигун» з векторним керуванням.

Отримані результати дозволяють виконати розрахунок і вибір елементів електромеханічної системи ліфтової підйомної установки.

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Таблиця 2.1 – Вихідні дані на проектування

Швидкість кабіни	V , м/с	1.75
Вантажопідйомність	m_{Γ} , кг	1150
Маса кабіни	m_{κ} , кг	1425
Точність зупинки	ΔS , м	0.02
Максимальне прискорення	a_{\max} , м/с ²	1
Діаметр шківів	$D_{\text{ш}}$, м	0.8
Посадочний поверх	Π_{Π}	1
Висота шахти	H , м	60

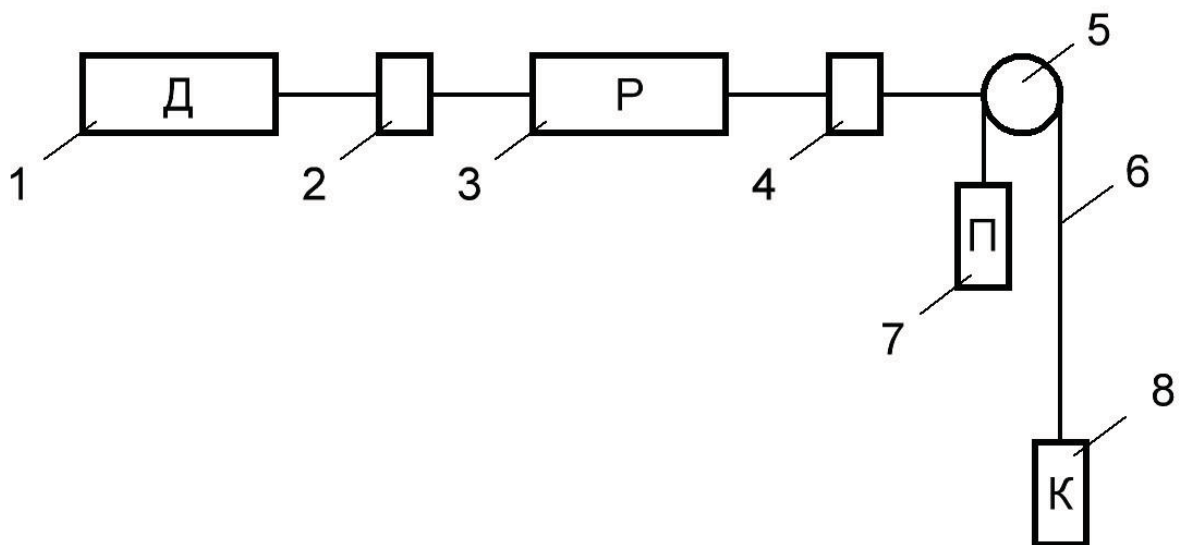


Рисунок 2.1 – Кінематична схема ліфта

1 – двигун;

2 – гальмівна муфта;

3 – редуктор;

4 – сполучна муфта;

5 – канатоведучий шків;

6 – канати;

7 – противага;

8 – кабіна.

У сучасних ліфтах переважно застосовують кінематичні схеми з верхнім розташуванням ЕП. При такому розміщенні зменшується число перегинів канатів, що збільшує їх довговічність, підвищується ККД, зменшується навантаження на опорні конструкції, знижується вартість.

Кінематична схема з верхнім розташуванням ЕП працює наступним чином: рух від двигуна (1) передається на канатоведучий шків (5) через гальмівну муфту (2), редуктор (3) і сполучну муфту (4), який за допомогою канатів (6) приводить в рух кабіну (8) і противагу (7).

Розглянемо призначення деяких елементів кінематичної схеми.

Редуктор необхідний для зменшення частоти обертання ротора двигуна і збільшення крутного моменту двигуна.

Противага необхідна для повного урівноваження кабіни, часткового урівноваження вантажу і зменшення статичного моменту опору, створюваного кабіною і вантажем.

Привід ліфта повинен забезпечити зупинку кабіни з відхиленням рівнів підлоги і кабіни, яка залежить від величини початкової швидкості при різних граничних прискореннях. Для цього підхід до поверху проводиться на більш низькій швидкості з подальшим включенням гальмівної муфти, за допомогою якої здійснюється повна зупинка кабіни.

2.1 Розрахунок підйомних канатів

Визначимо максимальний статичний натяг гілки канату F_{MAX} , Н.

$$F_{MAX} = \frac{G_K + G_\Gamma}{m_T \cdot i_\Pi}, \text{ Н} \quad (2.1)$$

де: G_K – вага кабіни, Н;

G_Γ – вантажопідйомність ліфта, Н;

$m_T = 6$ – число канатів [2];

$i_\Pi = 1$ – кратність поліспасти [2].

$$F_{MAX} = \frac{13965 + 11270}{6 \cdot 1} = 4205.8 \text{ (Н)} \quad (2.2)$$

Визначимо розривне зусилля канату $F_p = F_{MAX} \cdot k_3$,

де $k_3 = 12$ – коефіцієнт запасу міцності каната [2];

$$F_p = 4205.8 \cdot 12 = 50470 \text{ (Н)} \quad (2.3)$$

Тепер оберемо канат, щоб при цьому виконувалась рівність $F_{доп} \geq F_p$, де $F_{доп}$ – допустиме розривне зусилля, Н.

Обираємо канат типу ГОСТ 3077-80 [30] діаметром $d = 10.5$ мм, $F_{доп} = 56$ кН

2.2 Розрахунок канатоведучого шківа

Відстань між канавками ободу КВШ залежить від діаметра канату і визначається за формулою:

$$t = (1.2 \sim 2) \cdot d = 1.5 \cdot 10.5 = 15.75 \text{ (мм)} \quad (2.4)$$

Визначимо ширину канатоведучого шківа:

$$b = (m \cdot t + 2 \cdot d) \cdot z = (6 \cdot 15.75 + 2 \cdot 10.5) \cdot 1 = 115.5 \text{ (мм)} \quad (2.5)$$

де t , d – крок канавок та діаметр каната, мм;

m – кількість паралельних гілок каната;

$z = 1$ – кількість обхватів канатами КВШ [2];

Маса шківів:

$$m_{\text{ш}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{ш}}^2 \cdot b \cdot \gamma}{4}, \text{ кг} \quad (2.6)$$

де $D_{\text{ш}}$ – діаметр шківів, м;

$\gamma = 7.8 \cdot 10^3$ – питома вага каната, кН/м³ [2].

$$m_{\text{ш}} = \frac{3.14 \cdot 0.8^2 \cdot 0.115 \cdot 7.8 \cdot 10^3}{4} = 288 \text{ (кг)} \quad (2.7)$$

Момент інерції шківів:

$$J_{\text{ш}} = \frac{m_{\text{ш}} \cdot R_{\text{ш}}^2}{2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.8)$$

де $R_{\text{ш}}$ – радіус шківів, м;

$$J_{\text{ш}} = \frac{288 \cdot 0.4^2}{2} = 46.08 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (2.9)$$

Визначимо вагу противаги:

$$G_{\text{ПРТ}} = G_{\text{К}} + \alpha \cdot G_{\text{Г}} = 13965 + 0.4 \cdot 11270 = 18473 \text{ (Н)} \quad (2.10)$$

де $\alpha = 0.35 \div 0.4$ – коефіцієнт зрівноваженості [2],

$G_{\text{Г}} = 11270 \text{ Н}$ – вантажопідйомність,

$G_{\text{К}} = 13965 \text{ Н}$ – вага кабіни.

Маса противаги:

$$m_{\text{ПРТ}} = \frac{G_{\text{ПРТ}}}{g} = \frac{18473}{9.8} = 1885 \text{ (кг)} \quad (2.11)$$

2.3 Попередній розрахунок потужності двигуна

Час руху кабіни на кожному поверсі можна розрахувати за формулою:

$$t = t_p + t_r + t_y \quad (2.12)$$

$$\text{де } t_p = \frac{V}{a_{\text{max}}} = \frac{1.75}{1} = 1.75 \text{ (с)} - \text{ час розгону,}$$

$$t_r = t_{r1} + t_{r2} + t_{r3} - \text{ час гальмування, с}$$

$$\text{де } t_{r1} = \frac{(V - V_{\text{пос}})}{a_{\text{max}}} = \frac{1.75 - 0.3}{1} = 1.45 \text{ (с)} - \text{ час переходу від номінальної}$$

швидкості на посадочну.

$$t_{r2} = 1.0 \text{ с} - \text{ час підходу до поверху на посадочній швидкості [14],}$$

$$t_{r3} = \frac{V_{\text{пос}}}{a_{\text{max}}} = \frac{0.3}{1} = 0.3 \text{ (с)} - \text{ час гальмування до повної зупинки,}$$

$$t_r = 1.45 + 1.0 + 0.3 = 2.75 \text{ (с)} \quad (2.13)$$

$$t_y = \frac{(n_2 - n_1) \times 2.5 \cdot S}{V} - \text{ час руху на усталеній швидкості, с}$$

$$\text{де } n_1 = 1, n_2 = 24 - \text{ порядковий номер поверхів;}$$

$S = S_p + S_{T1} + S_{T2} + S_{T3}$ – шлях, що проходить кабіна при розгоні та гальмуванні, м;

$$\text{де } S_p = 0.5 \cdot a_{\text{max}} \cdot t_p^2 = 0.5 \cdot 1 \cdot 1.75^2 = 1.53 \text{ (м)} - \text{ шлях розгону;}$$

$S_{T1} = 0.5 \cdot a_{\text{max}} \cdot t_{r1}^2 = 0.5 \cdot 1 \cdot 1.45^2 = 1.05 \text{ (м)}$ – шлях гальмування до посадочної швидкості;

$S_{T2} = V_{\text{пос}} \cdot t_{r2} = 0.3 \cdot 1 = 0.3 \text{ (м)}$ – шлях підходу до поверху на посадочній швидкості;

$S_{T3}=0.5 \cdot a_{\max} \cdot t_{T3}^2=0.5 \cdot 1 \cdot 0.3^2=0.045$ (м) – шлях гальмування до повної зупинки;

Шлях, що проходить кабіна при розгоні та гальмуванні:

$$S=1.53+1.05+0.3+0.045=2.925 \text{ (м)} \quad (2.14)$$

Визначимо час, що витрачається на технологічний цикл підйому:

$$T=\frac{2H_B - h \cdot (N_B^{\Pi} + N_C^C + 1)}{V} + k_t \cdot \left[(t_1 + t_2 + t_3) \cdot (N_B^{\Pi} + N_C^C + 1) + t_4^{\Pi} + t_5^{\Pi} + t_4^C + t_5^C \right] \quad (2.15)$$

де:

$H_B = k_B \cdot H_{\max}$ – ймовірна висота підйому кабіни, м;

$k_B = 0.7 \dots 0.9$ – коефіцієнт ймовірності висоти підйому [14];

$H_{\max} = 60$ м – максимальна висота підйому;

$h = 2.95$ м – шлях, що проходить кабіна з моменту початку руху до виходу на номінальну швидкість та з моменту початку гальмування до повної зупинки з (2.14) .

$V = 1.75 \frac{м}{с}$ – швидкість руху кабіни;

N_B^{Π} и N_C^C – кількість ймовірних зупинок при підйомі та спуску;

$$N_B^{\Pi} = N_1 - N_1 \cdot \left(\frac{N_1 - 1}{N_1} \right)^{\gamma_{\Pi} \cdot E}; \quad N_C^C = N_1 - N_1 \cdot \left(\frac{N_1 - 1}{N_1} \right)^{\gamma_C \cdot E} \quad (2.16)$$

де:

$N_1 = 24 - \Pi_{\Pi}$ – кількість ймовірних зупинок вище посадочного поверху Π_{Π} ($\Pi_{\Pi} = 1$);

$\gamma_{\Pi} = 0.8$ и $\gamma_C = 0.4$ – коефіцієнти заповнення кабіни при підйомі та спуску відповідно [2];

$E = \frac{G_{\Gamma}}{80}$ – вмістимість ліфта, що визначається його вантажопідйомністю

G_{Γ} та середньою масою однієї людини;

t_4 і t_5 – час, який витрачається на вхід та вихід пасажирів при підйомі та спуску;

$$t_4^{\Pi} + t_5^{\Pi} = 2 \cdot \Delta t \cdot \gamma_{\Pi} \cdot E \quad (2.17)$$

$$t_4^C + t_5^C = 2 \cdot \Delta t \cdot \gamma_C \cdot E \quad (2.18)$$

де $\Delta t = 1.5 \dots 2$ - час, що витрачається на вхід та вихід одного пасажирів [14];

$k_t = 1.05 \dots 1.1$ - коефіцієнт, що враховує додаткові затримки, [14]

Розрахуємо необхідні значення:

$$E = \frac{1150}{80} = 14 \text{ (чоловік)} \quad (2.19)$$

$$t_4^{\Pi} + t_5^{\Pi} = 2 \cdot \Delta t \cdot \gamma_{\Pi} \cdot E = 2 \cdot 1.5 \cdot 0.8 \cdot 14 = 33.6 \text{ (с)} \quad (2.20)$$

$$t_4^C + t_5^C = 2 \cdot \Delta t \cdot \gamma_C \cdot E = 2 \cdot 1.5 \cdot 0.4 \cdot 14 = 16.8 \text{ (с)} \quad (2.21)$$

$$N_1 = 24 - \Pi_{\Pi} = 24 - 1 = 23 \quad (2.22)$$

$$N_B^{\Pi} = N_1 - N_1 \cdot \left(\frac{N_1 - 1}{N_1} \right)^{\gamma_{\Pi} \cdot E} = 23 - 23 \cdot \left(\frac{23 - 1}{23} \right)^{0.8 \cdot 14} = 9 \quad (2.23)$$

$$N_B^C = N_1 - N_1 \cdot \left(\frac{N_1 - 1}{N_1} \right)^{\gamma_C \cdot E} = 23 - 23 \cdot \left(\frac{23 - 1}{23} \right)^{0.4 \cdot 14} = 5 \quad (2.24)$$

$$H_B = k_B \cdot H_{\text{MAX}} = 0.7 \cdot 60 = 42 \text{ (м)} \quad (2.25)$$

Визначимо час, що витрачається на технологічний цикл підйому:

$$T = \frac{2H_B - h \cdot (N_B^{\Pi} + N_B^C + 1)}{V} + k_t \cdot \left[(t_1 + t_2 + t_3) \cdot (N_B^{\Pi} + N_B^C + 1) + t_4^{\Pi} + t_5^{\Pi} + t_4^C + t_5^C \right] \quad (2.26)$$

$$T = \frac{2 \cdot 42 - 3 \cdot (9+5+1)}{1.75} + 1.05((2+1+1) \cdot (9+5+1) + 33.6 + 16.8) = 138.2 \text{ (с)} \quad (2.27)$$

Час роботи двигуна:

$$t_B = T - K_t \cdot (t_4^{\Pi} + t_5^{\Pi} + t_4^C + t_5^C) \quad (2.28)$$

$$t_B = 138 - 1.05 \cdot (33.6 + 16.8) = 85.08 \text{ (с)} \quad (2.29)$$

Тривалість включення двигуна:

$$\text{ПВ} = \frac{100 \cdot t_B}{T} = \frac{100 \cdot 85.08}{126} = 67.52 \% \quad (2.30)$$

Розрахунок потужності двигуна ліфта зводиться до попереднього вибору потужності по статичних навантажень, побудові повної навантажувальної діаграми з урахуванням перехідних процесів і до подальшої перевірки за методом еквівалентного струму або моменту.

Попередня потужність двигуна:

$$P_D = \frac{(1 - \alpha) \cdot G_{\Gamma} \cdot V}{\eta}, \text{ Вт} \quad (2.31)$$

де: $\alpha = 0.35 \div 0.4$ – коефіцієнт зрівноваженості [2],

$\eta = 0.5 \div 0.6$ – загальний ККД для підйомно-транспортних установок [2].

$$P_D = \frac{(1 - \alpha) \cdot G_{\Gamma} \cdot V}{\eta} = \frac{(1 - 0.35) \cdot 1150 \cdot 9.8 \cdot 1.75}{0.5} = 25639 \text{ (Вт)} \quad (2.32)$$

Проведемо перерахунок потужності з урахуванням найближчого стандартного значення:

$$P_P = P_D \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}}{\text{ПВ}_{\text{СТ}}}} = 25639 \cdot \sqrt{\frac{67.5}{100}} = 21064 \text{ (Вт)} \quad (2.33)$$

$P_D = P_P \cdot k_3$, де $k_3 = 1.1 \dots 1.3$ – коефіцієнт що враховує динамічні навантаження [2].

$$P_d = P_p \cdot k_3 = 21064 \cdot 1.2 = 25276 \text{ (Вт)} \quad (2.34)$$

Перевірка умови необхідної продуктивності ліфтової установки:

$$\Pi = \frac{3600 \cdot E \cdot (\gamma_{\Pi} + \gamma_c)}{T} = \frac{3600 \cdot 14 \cdot (0.8 + 0.4)}{138} = 438 \text{ (чол/год)} \quad (2.35)$$

Таблиця 2.2 - Паспортні дані двигуна 4A225M8Y3

Номінальна потужність	$P_{2n} = 30 \text{ кВт}$
Номінальна лінійна напруга	$U_{ln} = 380 \text{ В}$
Число пар полюсів	$p_n = 3$
Момент інерції	$J_d = 0.74 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Номінальний ККД	$\eta = 0.905$
Коефіцієнт потужності	$\cos(\varphi)_n = 0.81$
Перевантажувальна здатність	$\lambda = 2.1$
Номінальне ковзання	$S_n = 0.018$
Критичне ковзання	$S_k = 0.115$
Номінальна частота напруги	$f = 50 \text{ Гц}$
Параметри Г-подібної схеми заміщення (у відносних одиницях)	
Індуктивний опір розсіювання статора	$\overline{x}_1 = 0.12$
Активний опір статора	$\overline{R}_1 = 0.045$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$\overline{x}_2' = 0.17$
Приведений активний опір ротора	$\overline{R}_2' = 0.022$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$\overline{x}_\mu = 2.3$

2.4 Розрахунок параметрів двигуна

Кутова частота напруги статора:

$$\omega_{0n} = 2\pi f = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right) \quad (2.36)$$

Швидкість ідеального холостого ходу:

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0n}}{p_n} = \frac{314}{3} = 104.67 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right) \quad (2.37)$$

Номінальна швидкість двигуна:

$$\omega_n = \omega_{xx} \cdot (1 - S_n) = 104.67 \cdot (1 - 0.018) = 102.78 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right) \quad (2.38)$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = \frac{30000}{102.78} = 291.88 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (2.39)$$

Критичний момент двигуна (по перевантажувальній здатності λ з каталогу):

$$M_k = \lambda \cdot M_n = 2.1 \cdot 291.88 = 612.95 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (2.40)$$

Номінальні діючі значення фазної напруги статора:

$$U_n = \frac{U_{ln}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ (В)} \quad (2.41)$$

Номінальне значення фазного струму статора:

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_n \cdot \eta \cos(\varphi)} = \frac{30000}{3 \cdot 220 \cdot 0.9 \cdot 0.81} = 62.35 \text{ (А)} \quad (2.42)$$

Амплітудні значення фазної напруги і струму статора:

$$\begin{aligned} U_{na} &= \sqrt{2} U_n = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ (В)}; \\ I_{na} &= \sqrt{2} I_n = \sqrt{2} \cdot 62.35 = 87.91 \text{ (А)} \end{aligned} \quad (2.43)$$

Амплітудні значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу при $R_l = 0$:

$$\psi_{1xx} = \frac{U_{na}}{\omega_{0n}} = \frac{311}{314} = 0.99 \text{ (Вб)} \quad (2.44)$$

2.5 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення

Для перерахунку параметрів з Г-подібної схеми заміщення в Т-подібну використовується наступна методика [9]:

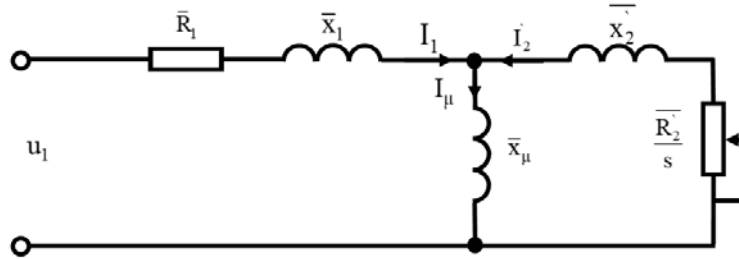


Рисунок 2.3 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

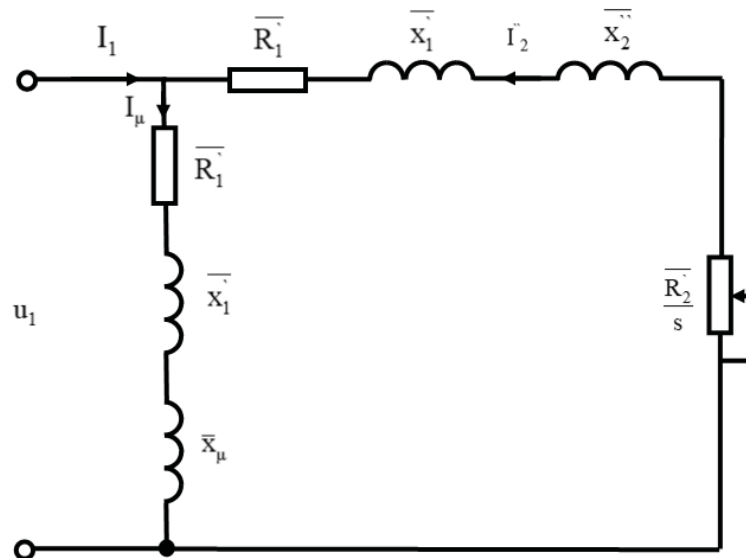


Рисунок 2.4 – Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Коефіцієнт перерахунку між Т-подібною та Г-подібною схемами заміщення [9]:

$$c_1 = \frac{\bar{x}_\mu + \sqrt{\bar{x}_\mu^2 + 4\bar{x}_1\bar{x}_\mu}}{2\bar{x}_\mu} = \frac{2.3 + \sqrt{2.3^2 + 4 \cdot 0.12 \cdot 2.3}}{2 \cdot 2.3} = 1.049 \quad (2.45)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:

$$\begin{aligned} \bar{x}_1 &= \frac{\bar{x}_1}{c_1} = \frac{0.12}{1.049} = 0.11 \\ \bar{x}_2 &= \frac{\bar{x}_2}{c_1^2} = \frac{0.17}{1.049^2} = 0.15 \end{aligned} \quad (2.46)$$

$$\begin{aligned}\overline{R_1} &= \frac{\overline{R_1'}}{c_1} = \frac{0.045}{1.049} = 0.042 \\ \overline{R_2} &= \frac{\overline{R_2'}}{c_1^2} = \frac{0.022}{1.049^2} = 0.019\end{aligned}\quad (2.47)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях:

Індуктивний опір статора:

$$x_1 = \overline{x_1'} \frac{U_n}{I_n} = 0.11 \cdot \frac{220}{62.35} = 0.38 \quad (2.48)$$

Активний опір статора:

$$R_1 = \overline{R_1'} \frac{U_n}{I_n} = 0.042 \cdot \frac{220}{62.35} = 0.148 (\text{Ом}) \quad (2.49)$$

Індуктивний опір ротора, приведений до статора:

$$x_2' = \overline{x_1'} \frac{U_n}{I_n} = 0.12 \cdot \frac{220}{62.35} = 0.42 (\text{Ом}) \quad (2.50)$$

Активний опір ротора, приведений до статора:

$$R_2 = \overline{R_2'} \frac{U_n}{I_n} = 0.019 \cdot \frac{220}{62.35} = 0.067 (\text{Ом}) \quad (2.51)$$

Індуктивний опір розсіювання:

$$x_\mu = \overline{x_\mu'} \frac{U_n}{I_n} = 2.3 \cdot \frac{220}{62.35} = 8.11 (\text{Ом}) \quad (2.52)$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$\begin{aligned}L_{1\sigma} &= \frac{x_1}{\omega_{0n}} = \frac{0.38}{314} = 0.0012 (\text{Гн}); \\ L_{2\sigma} &= \frac{x_2'}{\omega_{0n}} = \frac{0.42}{314} = 0.0013 (\text{Гн})\end{aligned}\quad (2.53)$$

Індуктивність намагнічуючого контуру:

$$L_m = \frac{x_\mu}{\omega_{0n}} = \frac{8.11}{314} = 0.025(\Gamma_H) \quad (2.54)$$

Індуктивності статора і ротора:

$$\begin{aligned} L_1 &= L_m + L_{1\sigma} = 0.025 + 0.0012 = 0.0262(\Gamma_H); \\ L_2 &= L_m + L_{2\sigma} = 0.025 + 0.0013 = 0.0263(\Gamma_H) \end{aligned} \quad (2.55)$$

На основі проведених розрахунків обчислюються значення параметрів $\alpha, \alpha_1, \beta, \beta_1, \gamma, \gamma_1, \gamma_2, \sigma, \sigma_1$:

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2} = \frac{0.067}{0.0263} = 2.54 \left(\frac{\text{ОМ}}{\Gamma_H} \right) \quad (2.56)$$

$$\alpha_1 = \frac{R_1}{L_1} = \frac{0.148}{0.0262} = 5.64 \left(\frac{\text{ОМ}}{\Gamma_H} \right) \quad (2.57)$$

$$\sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \right) = 0.0262 \left(1 - \frac{0.025^2}{0.0262 \times 0.0263} \right) = 0.00243(\Gamma_H) \quad (2.58)$$

$$\sigma_1 = L_2 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \right) = 0.0263 \left(1 - \frac{0.025^2}{0.0262 \times 0.0263} \right) = 0.00243(\Gamma_H) \quad (2.59)$$

$$\beta = \frac{L_m}{L_2 \sigma} = \frac{0.025}{0.0263 \times 0.00243} = 391.18 \left(\frac{1}{\Gamma_H} \right) \quad (2.60)$$

$$\beta_1 = \frac{L_m}{L_1 \sigma_1} = \frac{0.025}{0.0262 \times 0.00243} = 392.67 \left(\frac{1}{\Gamma_H} \right) \quad (2.61)$$

$$\gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha L_m \beta = \frac{0.148}{0.00243} + 2.54 \cdot 0.025 \cdot 391.18 = 30.93 \left(\frac{\text{ОМ}}{\Gamma_H} \right) \quad (2.62)$$

$$\gamma_1 = \frac{R_2}{\sigma_1} + \alpha_1 L_m \beta_1 = \frac{0.067}{0.00243} + 5.64 \cdot 0.025 \cdot 392.67 = 58.123 \left(\frac{\text{ОМ}}{\Gamma_H} \right) \quad (2.63)$$

$$\gamma_2 = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha L_m \beta + \alpha = \frac{0.148}{0.00243} + 2.54 \cdot 0.025 \cdot 391.18 + 2.54 = 33.47 \left(\frac{\text{ОМ}}{\Gamma_H} \right) \quad (2.64)$$

Таблиця 2.3 - Параметри двигуна 4A225M8Y3

$P_{2n}, \text{кВт}$	30	$L_1, \text{Гн}$	0.0262
$\omega_{xx}, \text{рад/с}$	104.67	$L_2, \text{Гн}$	0.0263
$\omega_n, \text{рад/с}$	102.78	$L_m, \text{Гн}$	0.025
$M_n, \text{Нм}$	291.88	$\alpha, \text{Ом/Гн}$	2.54
$M_k, \text{Нм}$	612.95	$\alpha_1, \text{Ом/Гн}$	5.64
λ	2.1	$\sigma, \text{Гн}$	0.00243
$I_{na}, \text{А}$	86.91	$\sigma_1, \text{Гн}$	0.00243
$\psi_{1xx}, \text{Вб}$	0.99	$\beta, 1/\text{Гн}$	391.18
η	0.905	$\beta_1, 1/\text{Гн}$	392.67
$\cos\varphi$	0.81	$\gamma, \text{Ом/Гн}$	30.93
$J_d, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	0.74	$\gamma_1, \text{Ом/Гн}$	58.12
$R_1, \text{Ом}$	0.148	$\gamma_2, \text{Ом/Гн}$	33.47
$R_2, \text{Ом}$	0.067		

2.6 Вибір перетворювача частоти

Тепер до обраного двигуна 4A225M8Y3 [22] підберемо перетворювач частоти, так щоб його потужність та номінальний струм були не меншими ніж у двигуна, і який би задовольняв вимогам технологічного процесу лфітових підйомни установок. Для таких цілей підходить перетворювач ATV930D37N4 [31] компанії Schneider потужністю 37 кВт та номінальним струмом 65.2 А при напрузі живлення 380В. Паспортні дані обраного перетворювача наведені нижче:

- Серія продукту: Altivar Process ATV900
- Тип пристрою або його аксесуарів: Привід з регульованою частотою обертання
- Область застосування: Промислове використання
- Коротка назва пристрою: ATV930

- Виконання: Стандартне виконання
- Призначення виробу: Асинхронні електродвигуни / Синхронні двигуни
- Виконання вимикача: Для монтажу на стіну
- Ступінь захисту IP: IP21 відповідно до ІЕС 61800-5-1 / IP21 відповідно до ІЕС 60529
- Ступінь захисту: UL тип 1 відповідно до UL 508C
- Тип охолодження: примусова конвекція
- Частота мережі живлення: 50 ... 60 Hz (+/- 5%)
- Число фаз мережі: 3 фази
- Номінальна напруга мережі: 380 ... 480 В (- 15 ... 10%)
- Потужність двигуна, кВт: 37 кВт (нормальне навантаження) / 30 кВт (важкі умови)
- Потужність двигуна, к.с: 50 к.с. (нормальне навантаження) / 40 к.с. (важкі умови)
- Лінійний струм: 66,2 А в 380 В (нормальне навантаження) / 57,3 А в 480 В (нормальне навантаження) / 54,8 А в 380 В (важкі умови) / 48,3 А в 480 В (важкі умови)
- Повна потужність: 47,6 кВА в 480 В (нормальне навантаження) / 40,2 кВА в 480 В (важкі умови)
- Безперервний вихідний струм: 74,5 А в 4 kHz (нормальне навантаження) / 61,5 А в 4 kHz (важкі умови)
- Макс. перехідний струм: 92,3 А протягом 60 с (важкі умови) / 89,4 А протягом 60 с (нормальне навантаження)
- Профіль управління асинхронним електродвигуном: Постійний стандартний момент / Змінний стандартний момент / Режим оптимізованого моменту
- Профіль управління синхронним двигуном: Електродвигун з постійними магнітами
- Вихідна частота приводу: 0.1 ... 599 Гц
- Номінальний. частота комутації: 4 кГц

- Частота комутації: 2 ... 16 kHz
- Функція захисту: STO (безпечне вимикання крутного моменту) SIL 3
- Кількість встановлених швидкостей: 16 попередньо швидкостей
- Протокол порту обміну даними: Ethernet / IP / Modbus послідовності. / Modbus TCP
- Опціональна карта: Слот А: модуль з'єднання для Profibus DP V1 / Слот А: модуль з'єднання для Profinet / Слот А: модуль з'єднання для DeviceNet / Слот А: модуль з'єднання для шлейфа CANopen RJ45 / Слот А: модуль з'єднання для CANopen SUB-D 9 / Слот А: модуль з'єднання для CANopen гвинтові затискачі / Слот А: модуль з'єднання для EtherCAT / Slot A / slot B / slot C: модуль розширення з дискретними і аналоговими входами/виходами / Slot A / slot B / slot C: модуль розширення вихідних реле / Slot B: 5/12 V digital encoder interface module / Slot B: analog encoder interface module / Slot B: resolver encoder interface module / Communication module for Ethernet Powerlink
- Розміри (Ш x В x Г): 226x673x271

2.7 Визначення передатного числа редуктора

Обраний двигун має синхронну частоту обертання $n_0 = 750 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$

Номінальна швидкість двигуна:

$$\omega_n = \omega_{xx} \cdot (1 - S_n) = 104.67 \cdot (1 - 0.018) = 102.78 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right) \quad (2.65)$$

Тоді передатне число редуктора буде:

$$i_p = \frac{\omega_n \cdot D_{\text{ш}}}{2 \cdot V} = \frac{102.78 \cdot 0.8}{2 \cdot 1.75} = 23.49 \quad (2.66)$$

де $D_{\text{ш}}$ – діаметр канатоведучого шківа, м.

Оберемо стандартне значення передаточного числа редуктора $i_{p, \text{ст}} = 25$

Статичний момент механізму на валу з вантажем:

$$M_{CB}=0.5 \cdot (1 - a_y) \cdot (G_{\Gamma} + G_K - G_{ПРТ}) \cdot D_{Ш}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.67)$$

$$M_{CB}=0.5 \cdot (1 - 0.35) \cdot (11270 + 13965 - 18473) \cdot 0.8 = 2197 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (2.68)$$

Статичний момент механізму на валу без вантажу:

$$M_{CB}=0.5 \cdot (1 - a_y) \cdot (G_K - G_{ПРТ}) \cdot D_{Ш}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.69)$$

$$M_{CB}=0.5 \cdot (1 - 0.35) \cdot (13965 - 18473) \cdot 0.8 = -1465 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (2.70)$$

Момент інерції механізму:

$$J_M = J_{К.ГР.} + J_{ПРТ} + J_{ШК} \quad (2.71)$$

$$J_{К.ГР.} = \frac{(G_K + G_{\Gamma}) \cdot D_{Ш}^2}{4 \cdot g} = \frac{(13965 + 11270) \cdot 0.8^2}{4 \cdot 9.81} = 411.58 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (2.72)$$

– момент інерції кабіни з вантажем приведений до валу шківа;

$$J_{ПРТ} = \frac{G_{ПР} \cdot D_{Ш}^2}{4 \cdot g} = \frac{18473 \cdot 0.8^2}{4 \cdot 9.81} = 301.29 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (2.73)$$

– момент інерції противаги, приведений до валу шківа;

Тепер розрахуємо загальний момент інерції механізму з вантажем:

$$J_{MB} = 411.58 + 301.29 + 46.08 = 758.65 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (2.74)$$

Момент інерції механізму без вантажу:

$$J_{MB} = 301.29 + 46.08 = 347.37 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (2.75)$$

Момент інерції механізму приведений до валу двигуна:

$$J_{MB.ПР} = \frac{J_{MB}}{i_{р.ст}^2} = \frac{758.65}{25^2} = 1.21 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (2.76)$$

$$J_{MB.ПР} = \frac{J_{MB}}{i_{р.ст}^2} = \frac{347.37}{25^2} = 0.55 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (2.77)$$

Сумарний момент інерції:

$$J_{\Sigma B} = J_{MB.ПР} + J_p = 1.21 + 0.74 = 1.95 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)} \quad (2.78)$$

$$J_{\Sigma B} = J_{MB.ПР} + J_p = 0.55 + 0.74 = 1.29 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)} \quad (2.79)$$

Фактична швидкість руху кабіни:

$$V_{\Phi} = \frac{\omega_n \cdot D_{ш}}{2 \cdot i_{p.ст}} = \frac{102.78 \cdot 0.8}{2 \cdot 25} = 1.65 \text{ (м/с)} \quad (2.80)$$

2.8 Розрахунок діаграм зусиль та остаточний вибір двигуна

$$\begin{aligned} t_1 = t_3 &= \frac{V_{\max}}{a} = \frac{1.65}{1} = 1.65 \text{ (с)} \\ x_1 = x_3 &= \frac{a \cdot t_1^2}{2} = \frac{1 \cdot 1.65^2}{2} = 1.36 \text{ (м)} \\ x_2 &= H - 2 \cdot x_1 = 60 - 2 \cdot 1.36 = 57.8 \text{ (м)} \\ t_2 &= \frac{x_2}{V_{\max}} = \frac{57.8}{1.65} = 35 \text{ (с)} \\ T_p &= 35 + 2 \cdot 1.36 = 37.7 \text{ (с)} \end{aligned} \quad (2.81)$$

t_1, t_3 – час розгону та гальмування;

x_1, x_3 – відстань яку проходить кабіна при розгоні та гальмуванні;

x_2 – відстань яку проходить кабіна на максимальній швидкості;

t_2 – час руху кабіни на максимальній швидкості;

T_p – час підйому кабіни на висоту 60 метрів;

1. Режим підйому завантаженого ліфта ($G = G_H$):

$$F_{\Gamma} = G + \alpha \cdot G_H + g_k(H - 2 \cdot x) \pm m \cdot a \quad (2.82)$$

Де G – вага вантажу в ліфті, Н;

G_H – номінальна вантажопідйомність ліфта, Н;

$\alpha = 0.5$;

g_k – вага 1 метру підвісного канату, Н;

H – висота підйому, м;

x – відстань, пройдена кабіною в певний момент часу, м;

Знайдемо навантаження у контрольних точках:

$$\begin{aligned}
 F_0 &= 13965 + 0.5 \cdot 11270 + 29.4 \cdot (60 - 2 \cdot 0) + 2575 = 23939 \text{ (H)} \\
 F_1 &= 13965 + 0.5 \cdot 11270 + 29.4 \cdot (60 - 2 \cdot 1.36) + 2575 = 23859 \text{ (H)} \\
 F_2 &= 13965 + 0.5 \cdot 11270 + 29.4 \cdot (60 - 2 \cdot 1.36) = 21284 \text{ (H)} \\
 F_3 &= 13965 + 0.5 \cdot 11270 + 29.4 \cdot (60 - 2 \cdot 58.64) = 17915 \text{ (H)} \\
 F_4 &= 13965 + 0.5 \cdot 11270 + 29.4 \cdot (60 - 2 \cdot 58.64) - 2575 = 15340 \text{ (H)} \\
 F_5 &= 13965 + 0.5 \cdot 11270 + 29.4 \cdot (60 - 2 \cdot 60) - 2575 = 15261 \text{ (H)}
 \end{aligned}
 \tag{2.83}$$

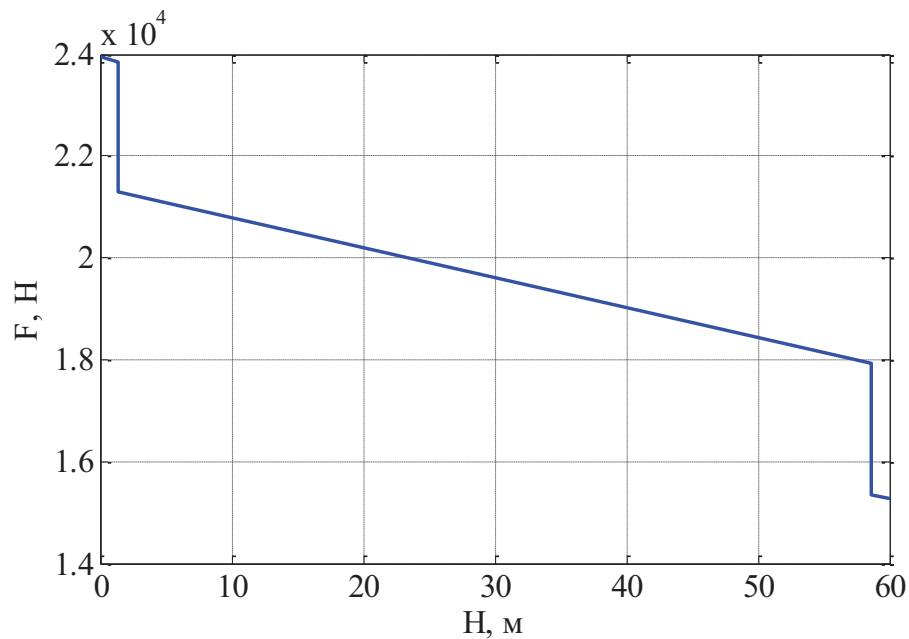


Рисунок 3.3 – Діаграма зусиль при підйомі завантаженого ліфта

1. Режим спуску порожнього ліфта ($G = 0$):

$$F = G + \alpha \cdot G_H + g_k \cdot (2 \cdot x - H) \pm m \cdot a \tag{2.84}$$

$$\begin{aligned}
 F_0 &= 0.5 \cdot 11270 + 29.4 \cdot (0 - 60) + 1425 = 5296 \text{ (H)} \\
 F_1 &= 0.5 \cdot 11270 + 29.4 \cdot (2 \cdot 1.36 - 60) + 1425 = 5375 \text{ (H)} \\
 F_2 &= 0.5 \cdot 11270 + 29.4 \cdot (2 \cdot 1.36 - 60) = 3950 \text{ (H)} \\
 F_3 &= 0.5 \cdot 11270 + 29.4 \cdot (2 \cdot 58.64 - 60) = 7319 \text{ (H)} \\
 F_4 &= 0.5 \cdot 11270 + 29.4 \cdot (2 \cdot 58.64 - 60) - 1425 = 5894 \text{ (H)} \\
 F_5 &= 0.5 \cdot 11270 + 29.4 \cdot (2 \cdot 60 - 60) - 1425 = 5974 \text{ (H)}
 \end{aligned}
 \tag{2.85}$$

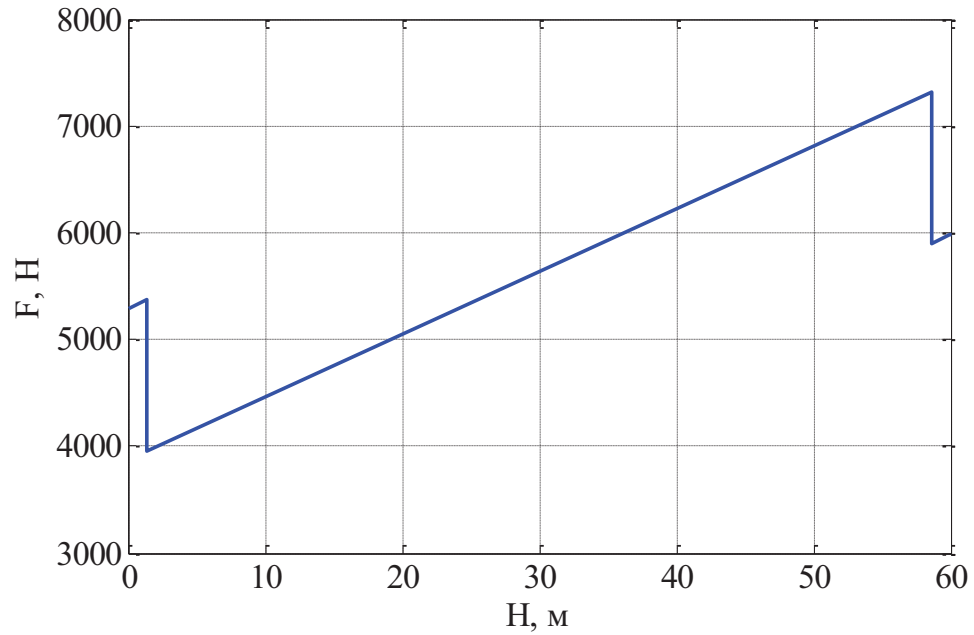


Рисунок 3.6 – Діаграма зусиль при спуску порожнього ліфта

Знайдемо середні значення зусиль:

$$\begin{aligned}
 F_{CP1} &= \frac{F_0 + F_1}{2} = \frac{23393 + 23859}{2} = 23899 \text{ (H)} \\
 F_{CP2} &= \frac{F_2 + F_3}{2} = \frac{21284 + 17915}{2} = 19599 \text{ (H)} \\
 F_{CP3} &= \frac{F_4 + F_5}{2} = \frac{15340 + 15261}{2} = 15300 \text{ (H)} \\
 F'_{CP1} &= \frac{F'_0 + F'_1}{2} = \frac{5296 + 5375}{2} = 5235 \text{ (H)} \\
 F'_{CP2} &= \frac{F'_2 + F'_3}{2} = \frac{3950 + 7319}{2} = 5634 \text{ (H)} \\
 F'_{CP3} &= \frac{F'_4 + F'_5}{2} = \frac{5894 + 5794}{2} = 5844 \text{ (H)}
 \end{aligned}
 \tag{2.86}$$

Знайдемо еквівалентне значення зусиль:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{екв}} &= \sqrt{\frac{F_{\text{CP1}}^2 \cdot t_1 + F_{\text{CP2}}^2 \cdot t_2 + F_{\text{CP3}}^2 \cdot t_3 + F_{\text{CP1}}'^2 \cdot t_1 + F_{\text{CP2}}'^2 \cdot t_3 + F_{\text{CP3}}'^2 \cdot t_3}{2 \cdot T_p}} = \\
 &= \sqrt{\frac{23899^2 \cdot 1.65 + 19599^2 \cdot 34.4 + 15300^2 \cdot 1.65 + 5235^2 \cdot 1.65 + 5634^2 \cdot 34.4 + 5844^2 \cdot 1.65}{2 \cdot 37.7}} = (2.87) \\
 &= 14024 \text{ (H)}
 \end{aligned}$$

Виходячи з цього необхідна потужність двигуна буде наступною:

$$P = \frac{F_{\text{екв}} \cdot V_{\text{max}}}{\eta_p} = \frac{14024 \cdot 1.65}{0.75} = 30854 \text{ (кВт)} \quad (2.88)$$

Отже попередній вибір двигуна 4A225M8Y3 потужністю 30 кВт підтверджено.

Висновки до розділу 2

В даному розділі магістерської дисертації було виконано розрахунок силової частини ліфтової підйомної установки, розрахунок кінематики та динаміки ЛПУ, побудована навантажувальна діаграма ЛПУ, а також обрано електродвигун серії 4A225M8Y3 [22] потужністю 30 кВт, який здатен забезпечити необхідну у відповідності до завдання продуктивність і виконано перевірки по перевантажувальній здатності та по перегріву. Для даного асинхронного двигуна було розраховано параметри за допомогою схем заміщення та обрано перетворювач частоти

Отримані результати дають можливість скласти математичну модель електромеханічної системи.

3 РОЗРАХУНОК КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ МЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ

Відштовхуючись від кінематичної схеми механізму можна перейти до розрахункової схеми. Для цього призводять швидкості, моменти інерції, маси і сили до валу двигуна. В основі приведення лежить закон збереження енергії.

Приведемо параметри механічної частини електроприводу до валу двигуна.

Радіус приведення поступально рухомих мас визначимо за формулою:

$$\rho_{\text{пр.}} = \frac{D_{\text{ш}}}{2 \cdot i_p}, \text{ м} \quad (3.1)$$

$$\rho_{\text{пр.}} = \frac{0.8}{2 \cdot 25} = 0.016 \text{ (м)} \quad (3.2)$$

Приведений момент інерції канатоведучого шківів обчислимо за формулою:

$$J_{\text{квш.пр.}} = \frac{J_{\text{ш}}}{i_p^2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.3)$$

$$J_{\text{квш.пр.}} = \frac{46.08}{25^2} = 0.073 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (3.4)$$

Приведений момент інерції протизаги:

$$J_{\text{прг.пр.}} = m_{\text{прг.}} \cdot \rho_{\text{пр.}}^2 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (3.5)$$

$$m_{\text{прг.}} = \frac{G_{\text{пр}}}{g} = \frac{18473}{9.81} = 1883 \text{ (кг)} \quad (3.6)$$

$$J_{\text{прг.пр.}} = 1883 \cdot 0.016^2 = 0.48 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (3.7)$$

Приведений момент інерції кабіни:

$$J_{\text{к.пр.}} = m_{\text{к}} \cdot \rho_{\text{пр.}}^2, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.8)$$

$$J_{\text{к.пр.}} = 1425 \cdot 0.016^2 = 0.36 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (3.9)$$

Приведений момент інерції вантажу:

$$J_{\text{ГР.ПР.}} = m_{\text{ГР.}} \cdot \rho_{\text{ПР.}}^2, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.10)$$

$$J_{\text{ГР.ПР.}} = 1150 \cdot 0.016^2 = 0.29 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (3.11)$$

Жорсткість одного каната орієнтовно можна визначити за формулою:

$$C_{\text{КО}} = \frac{E_{\text{К}} \cdot S_{\text{К}}}{l_{\text{К}}}, \text{ Н/м} \quad (3.12)$$

де $E_{\text{К}}=10^7$ – модуль пружності каната, Н/см² [2];

$S_{\text{К}}$ – площа перерізу каната, см²;

$l_{\text{К}}$ – довжина каната (висота підйому), м.

Площа $S_{\text{К}}$, м² визначається за формулою:

$$S_{\text{К}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ см}^2 \quad (3.13)$$

$$S_{\text{К}} = \frac{3.14 \cdot 0.105^2}{4} = 0.0087 \text{ (см}^2) \quad (3.14)$$

Тоді:

$$C_{\text{КО}} = \frac{10^7 \cdot 0.0087}{60} = 1450 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (3.15)$$

При кількості канатів рівній шести, сумарна жорсткість дорівнює:

$$C_{\text{К}} = C_{\text{КО}} \cdot m_{\text{Т}}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.16)$$

$$C_{\text{К}} = 1450 \cdot 6 = 8700 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (3.17)$$

Жорсткість канату приведена до валу двигуна:

$$C_{\text{К.ПР}} = C_{\text{К}} \cdot \rho_{\text{ПР}}^2, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.18)$$

$$C_{\text{К.ПР}} = 8700 \cdot 0.016^2 = 2.22 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (3.19)$$

Прийmemo величину жорсткості муфти $C_M = 75000 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Тоді жорсткість муфти, що з'єднує редуктор і шків, приведена до валу двигуна визначається за формулою:

$$C_{M.ПР} = \frac{C_M}{i_p^2}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.20)$$

$$C_{M.ПР} = \frac{75000}{25^2} = 120 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (3.21)$$

Момент інерції редуктора і гальмівної муфти J_1 , $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ прийmemo рівним:

$$J_1 = 0.3J_D, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.22)$$

$$J_1 = 0.3 \cdot 0.74 = 0.22 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (3.23)$$

Розрахункова схема вихідної багатомасової механічної частини електроприводу представлена на рисунку :

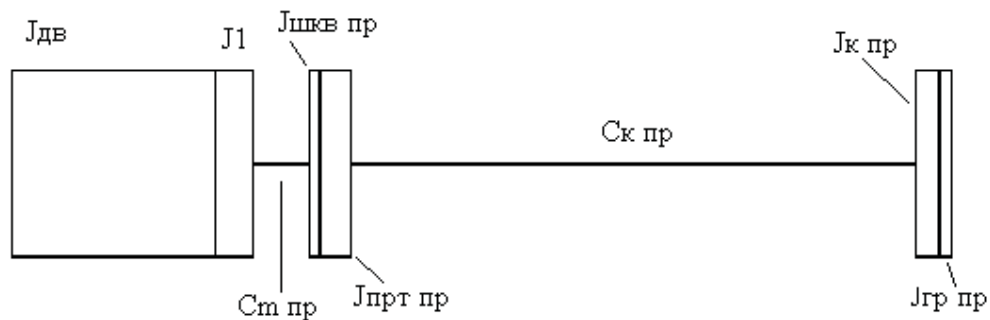


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема багатомасової механічної частини електропривода

Перейдемо до трьохмасової розрахункової схеми :

$$J_{ПР.1} = J_D + J_1, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.24)$$

$$J_{ПР.2} = J_{КВШ.ПР} + J_{ПРТ.ПР}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.25)$$

$$J_{ПР3} = J_{К.ПР} + J_{ГР.ПР}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.26)$$

$$C_{12} = C_{M.ПР} = 120 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (3.27)$$

$$C_{23} = C_{к.п.п} = 2.22 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (3.28)$$

$$J_{п.п.1} = 0.74 + 0.22 = 0.96 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (3.29)$$

$$J_{п.п.2} = 0.073 + 0.48 = 0.553 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (3.30)$$

$$J_{п.п.3} = 0.36 + 0.29 = 0.65 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (3.31)$$

Отримаємо трьохмасову розрахункову схему наступного виду:

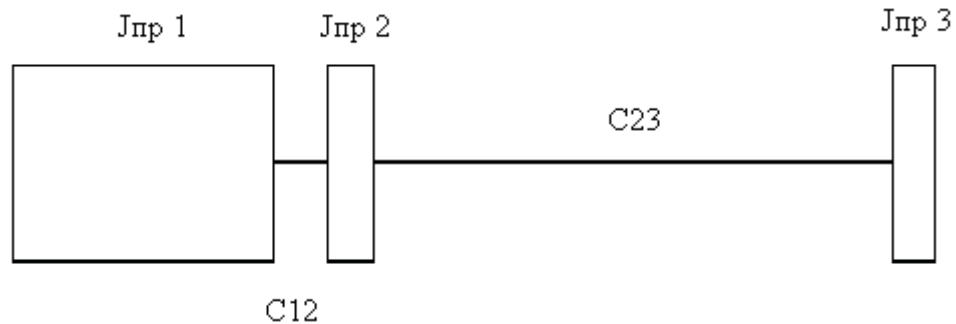


Рисунок 3.2 – Трьохмасова розрахункова схема механічної частини електропривода

Приведемо трьохмасову схему до двохмасової:

$$J_{21} = J_{п.п.2} \cdot \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{23}}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.32)$$

$$J_{23} = J_{п.п.2} \cdot \frac{C_{23}}{C_{12} + C_{23}}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.33)$$

$$C_{э.к.в} = \frac{C_{12} \cdot C_{23}}{C_{12} + C_{23}}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.34)$$

$$J_{1\Sigma} = J_{п.п.1} + J_{21}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.35)$$

$$J_{2\Sigma} = J_{п.п.3} + J_{23}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.36)$$

Отримаємо:

$$J_{21} = 0.553 \cdot \frac{120}{120 + 2.22} = 0.54 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)} \quad (3.37)$$

$$J_{23} = 0.553 \cdot \frac{2.22}{120 + 2.22} = 0.01 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)} \quad (3.38)$$

$$C_{\text{ЭКВ}} = \frac{120 \cdot 2.22}{120 + 2.22} = 2.17 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (3.39)$$

$$J_{1\Sigma} = 0.96 + 0.54 = 1.5 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)} \quad (3.40)$$

$$J_{2\Sigma} = 0.65 + 0.01 = 0.66 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)} \quad (3.41)$$

Отримаємо двухмасову розрахункову схему наступного виду:

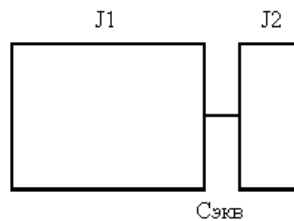


Рисунок 3.3 – Двохмасова розрахункова схема механічної частини електропривода

Для того щоб перейти до одномасової схеми приймемо $C_{\text{ЭКВ}}$ абсолютно жорстким зв'язком, тоді сумарний момент інерції:

$$J_{\Sigma} = J_{1\Sigma} + J_{2\Sigma}, \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)} \quad (3.42)$$

$$J_{\Sigma} = 1.5 + 0.66 = 2.16 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)} \quad (3.43)$$

Висновки до розділу 3

В даному розділі було розраховано та представлено розрахункову схему механізму ЛПУ. Для цього було виконано приведення швидкості, моментів інерції, маси і сили до валу двигуна. Отримані результати будуть використані при складанні моделі в програмному середовищі MATLAB «Simulink».

4 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Спочатку наведемо функціональну схему замкнутої системи з контуром швидкості для управління ліфтовою підйомною установкою. Схему зображено на рис. 4.1.

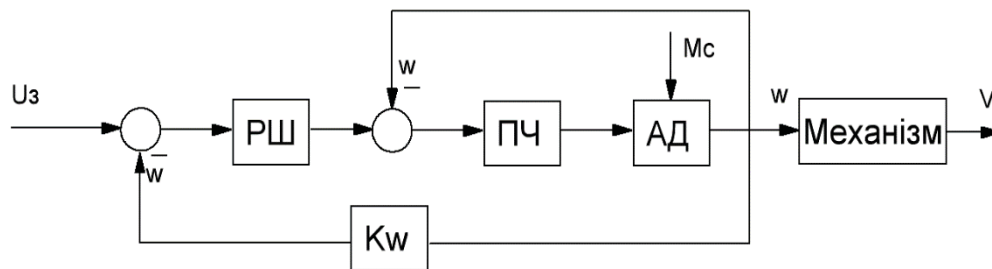


Рисунок 4.1 – Функціональна схема ЛПУ

На схемі (рис. 4.1) використані такі позначення: U_3 – сингал завдання; РШ – регулятор швидкості; ПЧ – перетворювач частоти; АД – асинхронний двигун; M_c – момент статичного навантаження; K_w – коефіцієнт зворотнього зв'язку по швидкості; V – лінійна швидкість руху кабіни; w – кутова швидкість обертання електродвигуна.

4.1 Розрахунок регулятора швидкості

Запишемо передатну функцію електродвигуна у вигляді [25]:

$$W(p) = \frac{M_d}{\omega_0 - \omega} = \frac{\beta}{T_\omega \cdot p + 1}, \quad (4.1)$$

де β - жорсткість;

T_ω - електромагнітна стала часу двигуна [25].

Представимо передатну функцію перетворювача частоти [25]:

$$W_{пч}(p) = \frac{K_{пч}}{T_\mu \cdot p + 1} \quad (4.2)$$

Побудуємо структурну схему об'єкта регулювання контуру швидкості, яка зображена на рисунку 4.2.

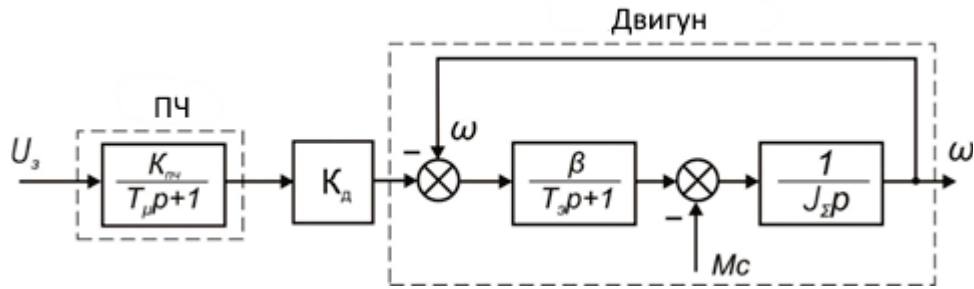


Рисунок 4.2 – Структурна схема об'єкта регулювання

Виходячи з [25], розрахуємо параметри передатної функції:

$$W_{\text{ПЧ}}(p) = \frac{K_{\text{ПЧ}}}{T_{\mu} \cdot p + 1} = \frac{5}{0,01 \cdot p + 1}, \quad (4.3)$$

де $K_{\text{ПЧ}} = \frac{f_H}{U_3} = \frac{50}{10} = 5$ - коефіцієнт підсилення ПЧ,

$T_{\mu} = 0,01 \text{ c}$ - постійна часу перетворювача частоти[25].

Інші параметри схеми:

T_e – електромагнітна стала часу двигуна;

β – модуль статичної жорсткості;

J_m – момент інерції механізму;

J_{Σ} – сумарний момент інерції;

T_m – електромеханічна постійна двигуна;

K_d – коефіцієнт передачі двигуна.

$$T_e = \frac{1}{\omega_0 \cdot S_{\text{КН}}} = \frac{1}{314 \cdot 0.115} = 0.027 \text{ (с)}; \quad (4.4)$$

$$\beta = \frac{M_H}{\omega_c - \omega_H} = \frac{291}{104.67 - 102.78} = 153.96 \text{ (Нм} \cdot \text{с)}; \quad (4.5)$$

$$T_m = \frac{J_{\Sigma}}{\beta} = \frac{1.95}{153.96} = 0.012 \text{ (с)}; \quad (4.6)$$

$$K_d = \frac{2 \cdot \pi}{p} = \frac{2 \cdot 3.14}{3} = 2.09 \quad (4.7)$$

Визначимо коефіцієнт зворотнього зв'язку по швидкості:

$$K_{\omega} = \frac{U_3}{1,3 \cdot \omega_H} = \frac{10}{1,3 \cdot 104,6} = 0,073 \text{ (В} \cdot \text{с)} \quad (4.8)$$

Враховуючи всі перетворення, загальна структурна схема ПЧ-АД матиме наступний вигляд:

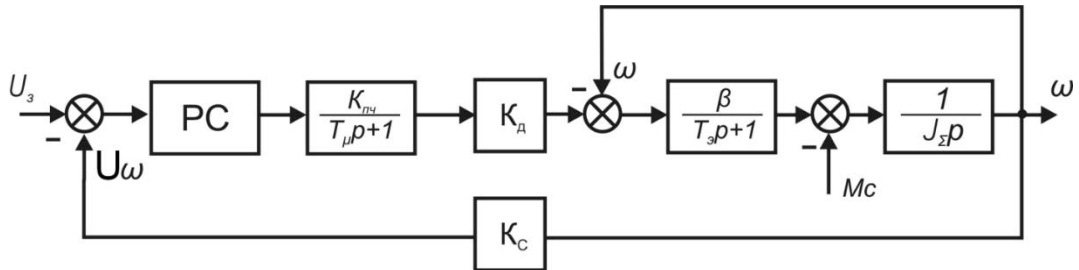


Рисунок 4.3 – Структурна схема ПЧ-АД

Після цього запишемо передатну функцію двигуна[27]:

$$\begin{aligned} W_d(p) &= \frac{\frac{\beta \cdot K_d}{J_{\Sigma} \cdot p \cdot (T_{\Sigma} \cdot p + 1)}}{1 + \frac{\beta}{J_{\Sigma} \cdot p \cdot (T_{\Sigma} \cdot p + 1)}} = \frac{\beta \cdot K_d}{J_{\Sigma} \cdot T_{\Sigma} \cdot p^2 + J_{\Sigma} \cdot p + \beta} = \\ &= \frac{K_d}{T_M \cdot T_{\Sigma} \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1} = \frac{2,09}{0,023 \cdot 0,029 \cdot p^2 + 0,029 \cdot p + 1} = \\ &= \frac{2,09}{0,00067 \cdot p^2 + 0,29 \cdot p + 1} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Структурна схема регулювання контуру швидкості виглядає так [25]:

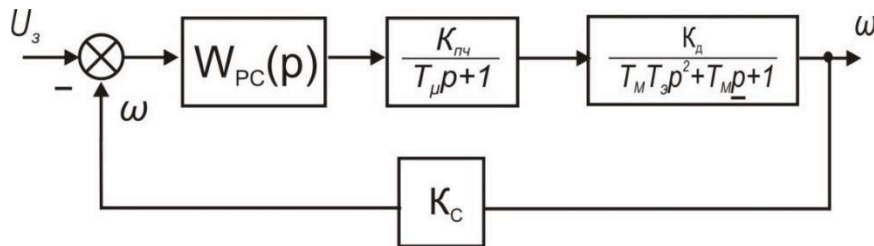


Рисунок 4.4 – Структурна схема регулювання по контуру швидкості[25]

Виведемо передаточну функцію об'єкта керування за швидкістю[25]:

$$\begin{aligned}
 W_{\text{ОРШ}}(p) &= \frac{K_{\text{ПЧ}} \cdot K_{\text{Д}}}{(T_{\mu} \cdot p + 1) \cdot (T_{\text{М}} \cdot T_{\text{Э}} \cdot p^2 + T_{\text{М}} \cdot p + 1)} = \\
 &= \frac{5 \cdot 2.09}{(0.01 \cdot p + 1) \cdot (0.025 \cdot 0.03 \cdot p^2 + 0.03 \cdot p + 1)} = \\
 &= \frac{10.45}{(0.01 \cdot p + 1) \cdot (0.00067p^2 + 0.029 \cdot p + 1)}.
 \end{aligned}
 \tag{4.10}$$

Приймаємо, що передатна функція об'єкта регулювання має наступний вигляд:

$$W_{\text{ОКШ}}(p) = \frac{K_1 \cdot K_2 \dots K_n}{\tilde{\text{O}}_m(T_i \cdot p + 1)}, \tag{4.11}$$

де T_i - стала часу об'єкта регулювання [25].

Можна позбавитись від постійних сталих часу в розімкнутому контурі регулювання. Отже можна видалити з контуру регулювання коефіцієнти $K_1 \cdot K_2 \dots K_n$, а також, для компенсації статичної похибки – ввести в контур інтегральний елемент

Таким чином, виконаємо заміну вихідного розімкнутого контуру у регулювання на бажаний контур, коефіцієнт підсилення якого дорівнює одиниці, іншими словами, зворотний зв'язок є одиничним, проте даний контур є астатичним першого порядку і здатен забезпечити високу швидкодію через невеликі сталі часу :

$$W_{\text{БАЗ}}(p) = W_{\text{ОКШ}}(p) \cdot W_{\text{РШ}}(p) = \frac{1}{T_{\text{ОП}} \cdot \tilde{\text{O}}_m(T_i p + 1)} \tag{4.12}$$

де i - число сталих, які скомпенсовано регулятором [25].

Після цього визначаємо передатну функцію регулятора:

$$W_{\text{РС}}(p) = \frac{W_{\text{РАЗС}}(p)}{W_{\text{ОРС}}(p)} = \frac{T_{\text{М}} \cdot T_{\text{Э}} \cdot p^2 + T_{\text{М}} \cdot p + 1}{T_{\text{У}} \cdot p} = \frac{0.00067 \cdot p^2 + 0.029 \cdot p + 1}{0.045 \cdot p} \tag{4.13}$$

де $T_{\text{У}} = a_{\text{С}} \cdot K_{\omega} \cdot K_{\text{ПЧ}} \cdot K_{\text{Д}} \cdot T_{\text{М}} = 2 \cdot 0.073 \cdot 5 \cdot 2.09 \cdot 0.03 = 0.045$ (с),

$a_{\text{С}}$ - коефіцієнт демпфування .

Після перетворень отримуємо вираз для регулятора швидкості:

$$W_{PC}(p)=0.015 \cdot p+0.666+\frac{1}{0.045p}. \quad (4.14)$$

4.2 Формулювання задачі векторного керування

Для моделювання систем керування АД прийнято використовувати математичну модель, яка записується в синхронній системі координат (d – q) [20], [21]:

$$\begin{aligned} \dot{\omega} &= \frac{1}{J}(M - M_c) - v\omega, & M &= \mu(\psi_{2d}i_{1q} - \psi_{2q}i_{1d}), \\ \dot{i}_{1d} &= -\gamma i_{1d} + \omega_o i_{1q} + \alpha\beta\psi_{2d} + \beta p_n \omega \psi_{2q} + \frac{1}{\sigma} u_{1d}, \\ \dot{i}_{1q} &= -\gamma i_{1q} - \omega_o i_{1d} - \alpha\beta\psi_{2q} - \beta p_n \omega \psi_{2d} + \frac{1}{\sigma} u_{1q}, \\ \dot{\psi}_{2d} &= -\alpha\psi_{2d} + p_n \omega_2 \psi_{2q} + \alpha L_m i_{1d}, \\ \dot{\psi}_{2q} &= -\alpha\psi_{2q} - p_n \omega_2 \psi_{2d} + \alpha L_m i_{1q}, \end{aligned} \quad (4.15)$$

де ω – кутова швидкість ротора, $\omega_2 = \omega_o - \omega$, $(i_{1d}, i_{1q})^T$ – компоненти вектора струму статора в системі координат (d – q), $(\psi_{2d}, \psi_{2q})^T$ – компоненти вектора потокозчеплень ротора, $(u_{1d}, u_{1q})^T$ – компоненти вектора напруги статора, M_c – момент навантаження, v – коефіцієнт в'язкого тертя.

Для спрощення регулювання і слідкування за АД вводиться поняття синхронної системи координат, яка позначається як (d – q). Синхронна система координат обертається відносно стаціонарної системи координат в (a – b) з швидкістю ω_o , див. Рис. 4.5.

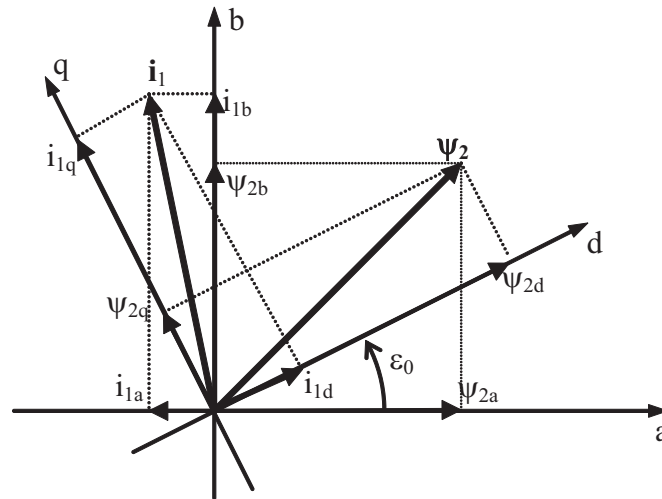


Рис. 4.5. Розташування векторів АД

Перетворення координат виконується наступним чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{dq} &= \mathbf{e}^{-j\varepsilon_0} \mathbf{x}_{ab} \\ \mathbf{x}_{ab} &= \mathbf{e}^{j\varepsilon_0} \mathbf{x}_{dq} \end{aligned} \quad \text{де} \quad \mathbf{e}^{-j\varepsilon_0} = \begin{bmatrix} \cos\varepsilon_0 & \sin\varepsilon_0 \\ -\sin\varepsilon_0 & \cos\varepsilon_0 \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

де \mathbf{x}_{yz} позначає двовимірний вектор напруги, потокозчеплення і струму статора, ε_0 – кутове положення системи координат $(d-q)$ відносно стаціонарної в $(a-b)$.

Проблема відпрацювання заданих траєкторій кутової швидкості – потокозчеплення формулюється наступним чином [23]. Припустимо, що для моделі АД, заданої (4.15), виконується наступне:

- A.1. Струми статора та кутова швидкість ротора доступні для вимірювання.
- A.2. Параметри АД відомі і незмінні.
- A.3. Момент навантаження M_c невідомий, постійний та обмежений.
- A.4. Задані траєкторії кутової швидкості ω^* і потокозчеплення $\psi^* > 0$ є обмеженими функціями з обмеженими першою та другою похідними по часу.

В умовах цих припущень відбувається проектування алгоритмів прямого та непрямого векторного керування які забезпечують:

O1. Глобальне асимптотичне відпрацювання заданих траєкторій швидкості – потокозчеплення, тобто

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\omega} = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\psi} = 0, \quad (4.17)$$

при умові обмеженості всіх внутрішніх змінних, де $\tilde{\omega} = \omega - \omega^*$, $\tilde{\psi} = \psi - \psi^*$.

О2. Асимптотичне орієнтування по вектору потокозчеплення ротора

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \psi_q = 0 \quad (4.18)$$

О3. Асимптотичну лінеаризацію підсистеми швидкості до лінійної повністю керованої форми.

О4. Асимптотичну розв'язку процесів керування електромеханічними та електромагнітними координатами АД.

4.2 Синтез системи непрямого векторного керування швидкістю

Синтез алгоритмів векторного керування по вимірюваному виходу виконується в два етапи: спершу синтезується підсистема керування потокозчепленням, а потім підсистема керування швидкістю. Обидві підсистеми синтезуються з використанням зворотної покрокової процедури проектування [24].

Записуємо похибки потокозчеплень:

$$\begin{aligned} \tilde{\psi}_q &= \psi_q - \psi_q^*, \\ \tilde{\psi}_d &= \psi_d - \psi_d^*, \end{aligned} \quad (4.19)$$

Згідно з О2 задаємо, що $\tilde{\psi}_q = \psi_q$. Тоді можна вважати, що $\psi_d^* = \psi^*$. Тоді записуємо похідні для потокозчеплень:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{\psi}}_q &= \dot{\psi}_q, \\ \dot{\tilde{\psi}}_d &= \dot{\psi}_d - \dot{\psi}^*, \end{aligned} \quad (4.20)$$

Тепер рівняння для потокозчеплень із (4.15) в похибках відпрацювання:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{\psi}}_d &= -\alpha \tilde{\psi}_d - \alpha \psi^* + p_n \omega_2 \tilde{\psi}_q + \alpha L_m \dot{i}_{ld} - \dot{\psi}^*, \\ \dot{\tilde{\psi}}_q &= -\alpha \tilde{\psi}_q - p_n \omega_2 \tilde{\psi}_d - p_n \omega_2 \psi^* + \alpha L_m \dot{i}_{lq}, \end{aligned} \quad (4.21)$$

Враховуючи, що треба скомпенсувати всі складові першого рівняння із (4.21), що не містять похибки, запишемо рівняння для струму $i_{ld} = i_{ld}^*$:

$$i_{ld}^* = \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \psi^* + \dot{\psi}^*), \quad (4.22)$$

З рівняння (4.22) можна легко знайти похідну:

$$\dot{i}_{ld}^* = \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \dot{\psi}^* + \ddot{\psi}^*), \quad (4.23)$$

З другого рівняння (4.21) можна отримати рівняння, що забезпечує полеорієнтування системи $(d - q)$:

$$\omega_o = \omega p_n + \alpha L_m \frac{\dot{i}_{lq}}{\psi^*}, \quad (4.24)$$

$$\dot{\varepsilon}_o = \omega_o,$$

Тоді отримуємо наступні рівняння для похибок поточозчеплень:

$$\dot{\tilde{\psi}}_d = -\alpha \tilde{\psi}_d + p_n \omega_2 \tilde{\psi}_q, \quad (4.25)$$

$$\dot{\tilde{\psi}}_q = -\alpha \tilde{\psi}_q - p_n \omega_2 \tilde{\psi}_d,$$

При записі функції Ляпунова для (4.25) отримуємо:

$$V = \frac{1}{2} (\tilde{\psi}_d^2 + \tilde{\psi}_q^2), \quad (4.26)$$

$$\dot{V} = -\alpha (\tilde{\psi}_d + \tilde{\psi}_q),$$

З (4.26) слідує, що система (4.25) асимптотично прямує до нуля при додатних коефіцієнтах. Тому ми отримуємо виконання умови $\lim_{t \rightarrow \infty} (\tilde{\psi}_d, \tilde{\psi}_q) = 0$. Оскільки $\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\psi}_q = 0$, то можна сказати, що полеорієнтування присутнє [26].

Для забезпечення відпрацювання швидкості запишемо перше рівняння (4.15) у вигляді похибок:

$$\begin{aligned}\tilde{\omega} &= \omega - \omega^*, \quad \dot{\tilde{\omega}} = \dot{\omega} - \dot{\omega}^*, \\ \dot{\tilde{\omega}} &= \mu(\psi_d i_{1q} - \psi_q i_{1d}) + \tilde{M}_c - \nu(\tilde{\omega} + \omega^*) - \dot{\omega}^*,\end{aligned}\quad (4.27)$$

$$\text{де } \tilde{M}_c = \frac{1}{J} M_c - \hat{M}_c, \quad \mu = \frac{1}{J} \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_2} p_n.$$

Враховуючи, що ψ_q при векторному керуванні має бути рівне нулю, а $\psi_d = \psi_d^*$, нижнє рівняння перепишеться як:

$$\dot{\tilde{\omega}} = \mu \psi_d^* i_{1q} + \tilde{M}_c - \nu(\tilde{\omega} + \omega^*) - \dot{\omega}^*, \quad (4.28)$$

Регулювання в цьому рівнянні здійснює момент, а саме струм i_{1q} . Тоді рівняння керуючої дії запишеться так:

$$\begin{aligned}i_{1q} &= \frac{1}{\mu \psi_d^*} (\hat{M}_c - k_\omega \tilde{\omega} + \dot{\omega}^* + \nu \omega^*), \\ \dot{\hat{M}}_c &= -k_{\omega i} \tilde{\omega},\end{aligned}\quad (4.29)$$

де $k_\omega, k_{\omega i} > 0$ – пропорційна та інтегральна складові регулятора кутової швидкості.

Після підстановки (4.29) в (4.28) отримаємо рівняння динаміки в похибках:

$$\begin{aligned}\dot{\tilde{M}}_c &= -\dot{\hat{M}}_c = k_{\omega i} \tilde{\omega}, \\ \dot{\tilde{\omega}} &= -k_\omega \tilde{\omega} + \tilde{M}_c + \mu \psi_d^* i_{1q},\end{aligned}\quad (4.30)$$

З (4.30), по аналогії з (4.25) отримуємо, що буде виконуватись умова $\lim_{t \rightarrow \infty} (\tilde{\omega}, \tilde{M}_c) = 0$ якщо $\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{i}_{1q} = 0$.

За умови струмового керування $i_{1q} = i_{1q}^*$ і ми можемо знайти похідну від i_{1q}^* , де замість $\tilde{\omega}$ ставиться рівняння (4.30):

$$\begin{aligned}
i_{1q}^* &= \frac{1}{\mu\psi^*} \left(\hat{M}_c - k_\omega \tilde{\omega} + \dot{\omega}^* + v\omega^* \right), \\
\dot{\hat{M}}_c &= -k_{\omega i} \tilde{\omega}, \\
\dot{i}_{1q}^* &= \frac{1}{\mu\dot{\psi}^*} \left(\dot{\hat{M}}_c - k_\omega \left(-k_\omega \tilde{\omega} + \tilde{M}_c + \mu\psi^* \tilde{i}_{1q} \right) + \ddot{\omega}^* + v\dot{\omega}^* \right) - \frac{\dot{\psi}^*}{\psi^*} i_{1q}^*,
\end{aligned} \tag{4.31}$$

Оскільки \tilde{M}_c є складовою не відомою, то ми як алгоритм регулятора записуємо лише відомі складові [27].

Тепер виконаємо перевірку відпрацювання асимптотичності струмів. Для початку сформуємо керуючі напруги:

$$\begin{aligned}
u_{1d} &= \sigma \left(-\omega_o i_{1q} + v_d \right), \\
u_{1q} &= \sigma \left(\omega_o i_{1d} + v_q \right),
\end{aligned} \tag{4.32}$$

Тепер запишемо струми (4.15) в похибках регулювання, підставивши (4.32) в рівняння для них:

$$\begin{aligned}
\tilde{i}_{1d} &= i_{1d} - i_{1d}^*, & \dot{\tilde{i}}_{1d} &= \dot{i}_{1d} - \dot{i}_{1d}^*, \\
\tilde{i}_{1q} &= i_{1q} - i_{1q}^*, & \dot{\tilde{i}}_{1q} &= \dot{i}_{1q} - \dot{i}_{1q}^*, \\
\dot{\tilde{i}}_{1d} &= -\gamma \left(\tilde{i}_{1d} + i_{1d}^* \right) + \alpha\beta \left(\tilde{\psi}_{2d} + \psi^* \right) + \beta p_n \omega \tilde{\psi}_{2q} - \dot{i}_{1d}^* + v_d, \\
\dot{\tilde{i}}_{1q} &= -\gamma \left(\tilde{i}_{1q} + i_{1q}^* \right) - \alpha\beta \tilde{\psi}_{2q} - \beta p_n \omega \left(\tilde{\psi}_{2d} + \psi^* \right) - \dot{i}_{1q}^* + v_q,
\end{aligned} \tag{4.33}$$

Доповнюємо керуючі дії усіма складовими, що можуть бути скомпенсовані:

$$\begin{aligned}
u_{1d} &= \sigma \left(\gamma i_{1d}^* - \omega_o i_{1q} - \alpha\beta \psi^* + \dot{i}_{1d}^* - k_i \tilde{i}_{1d} + x_d \right), \\
\dot{x}_d &= -k_{ii} \tilde{i}_{1d}, \\
u_{1q} &= \sigma \left(\gamma i_{1q}^* + \omega_o i_{1d} + \beta p_n \omega \psi^* + \dot{i}_{1q}^* - k_i \tilde{i}_{1q} + x_q \right), \\
\dot{x}_q &= -k_{ii} \tilde{i}_{1q},
\end{aligned} \tag{4.34}$$

де $k_i, k_{ii} > 0$ – пропорційна та інтегральна складові регулятора струму.

Підставляємо всі керуючі дії в рівняння (4.32) отримаємо:

$$\begin{aligned}\dot{\tilde{i}}_{ld} &= -\gamma \tilde{i}_{ld} + \alpha \beta \tilde{\psi}_{2d} + \beta p_n \omega \tilde{\psi}_{2q}, \\ \dot{\tilde{i}}_{lq} &= -\gamma \tilde{i}_{lq} - \alpha \beta \tilde{\psi}_{2q} - \beta p_n \omega \tilde{\psi}_{2d},\end{aligned}\tag{4.35}$$

Якщо врахувати, що виконується умова $\lim_{t \rightarrow \infty} (\tilde{\psi}_d, \tilde{\psi}_q) = 0$, тоді отримуємо два диференціальні рівняння першого порядку, які при додатних коефіцієнтах прямують до нуля, і ми маємо виконання умови $\lim_{t \rightarrow \infty} (\tilde{i}_{ld}, \tilde{i}_{lq}) = 0$.

3.3 Алгоритм непрямого векторного керування АД

Структура алгоритму непрямого векторного керування містить [28], [29]:

- розімкнутий регулятор модуля вектора потокозчеплення

$$\dot{i}_{ld}^* = \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \psi^* + \dot{\psi}^*),\tag{4.36}$$

$$\dot{i}_{ld}^* = \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \dot{\psi}^* + \ddot{\psi}^*),\tag{4.37}$$

$$\dot{\varepsilon}_0 = \omega_0 = \omega p_n + \alpha L_m \frac{\dot{i}_{lq}}{\psi^*},\tag{4.38}$$

- регулятор струму по осі (d) (польової складової струму статора)

$$\begin{aligned}u_{ld} &= \sigma \left(\gamma \dot{i}_{ld}^* - \omega_0 \dot{i}_{lq} - \alpha \beta \psi^* + \dot{i}_{ld}^* - k_i \tilde{i}_{ld} - x_d \right), \\ \dot{x}_d &= k_{ii} \tilde{i}_{ld},\end{aligned}\tag{4.39}$$

- регулятор кутової швидкості

$$\begin{aligned}\dot{i}_{lq}^* &= \frac{1}{\mu \psi^*} \left(-k_\omega \tilde{\omega} + \hat{M}_c + \dot{\omega}^* + v \omega^* \right) \\ \dot{\hat{M}}_c &= -k_{\omega l} \tilde{\omega}\end{aligned}\tag{4.40}$$

$$\dot{i}_{1q}^* = \frac{1}{\mu\psi^*} \left[-k_\omega \left(-k_\omega \tilde{\omega} + \mu\psi^* \tilde{i}_q \right) + \dot{M}_c + \ddot{\omega}^* + v\dot{\omega}^* \right] - \frac{\dot{\psi}^*}{\psi^*} i_{1q}^* \quad (4.41)$$

- регулятор струму по осі (q) (моментної складової струму статора)

$$\begin{aligned} u_{1q} &= \sigma \left(\gamma i_{1q}^* + \omega_0 i_{1d} + \beta \omega p_n \psi^* + \dot{i}_{1q}^* - k_{iq} \tilde{i}_q - x_q \right), \\ \dot{x}_q &= k_{ii} \tilde{i}_{1q}, \end{aligned} \quad (4.42)$$

Структурна схема алгоритму непрямого векторного керування зображена на рис.4.6.

Висновки до розділу 4

В даному розділі було наведено математичну модель асинхронного двигуна, структурну схему алгоритму прямого векторного керування ,а також здійснено розрахунок параметрів регулятора швидкості.

Отримані результати дозволяють розробити модель для дослідження енеогетичних характеристик ліфтової підйомної установки в програмному середовищі MATLAB "Simulink".

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЛІФТОВОЇ ПІДЙОМНОЇ УСТАНОВКИ

На підставі отриманих у розділі 5 математичної моделі та структурної схеми ліфтової підйомної установки в пакеті програми MATLAB “Simulink” розроблена модель для дослідження енергетичних характеристик ЛПУ, загальна схема якої представлена на рисунку 5.1

5.1. Розробка моделі для дослідження динамічних режимів системи

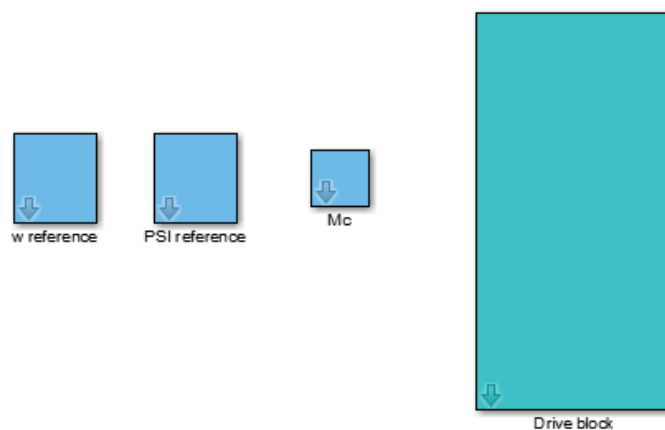


Рисунок 5.1. Загальна схема моделі.

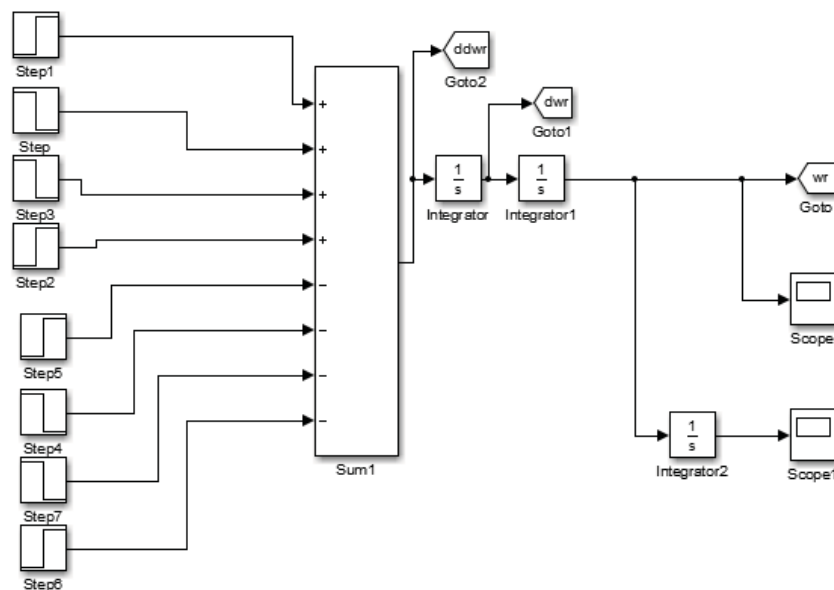


Рисунок 5.2. Блок формування траєкторії швидкості кривими другого порядку

На рисунку 5.2 представлений вигляд блоку Drive block

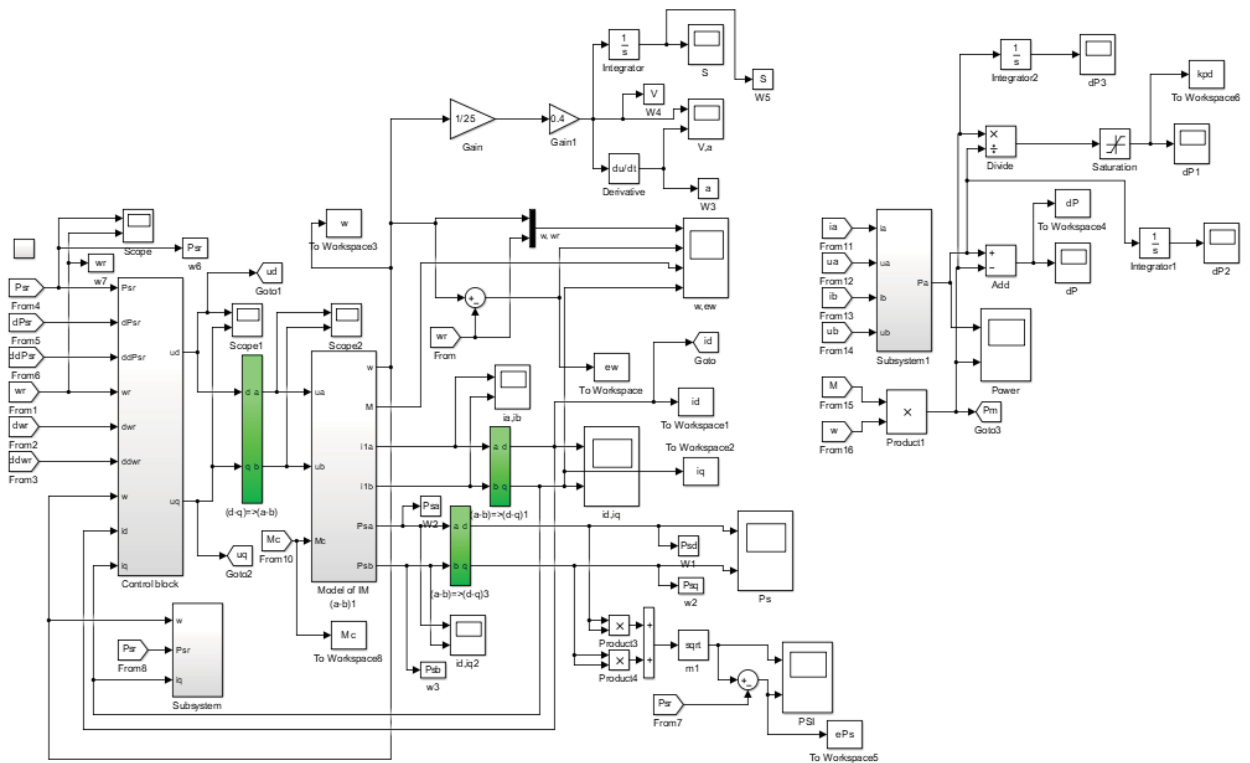


Рисунок 5.3. Вигляд блоку Drive block

5.2 Дослідження динамічних характеристик ліфтової підйомної установки при зміні навантаження та наявності періоду дотягування.

Програма досліджень. Для проведення досліджень використана врівноважена ліфтова підйомна установка з наступними параметрами: висота підйому – 60 м; вантажопідйомність – 1150 кг; потужність асинхронного двигуна – 30 кВт; номінальна швидкість руху кабіни – 1.75 м/с.

Розглянуті два варіанти заданої діаграми швидкості: з використанням періоду дотягування та без нього. В електромеханічній системі використаний асинхронний двигун з векторним керуванням.

Досліди проведені при наступних варіаціях завантаженості кабіни ліфта:

$$M_c = 0.3 \cdot M_n, M_c = 0.5 \cdot M_n, M_c = 0.7 \cdot M_n, M_c = 0.9 \cdot M_n, M_c = M_n.$$

Результати моделювання роботи ліфтової підйомної установки, при номінальному навантаженні двигуна $M_c = M_n = 290 (H \cdot m)$ зображені на рис.5.5 – рис.5.13.

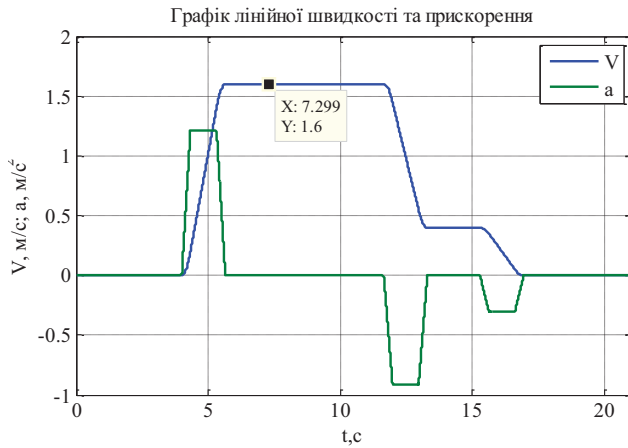


Рисунок 5.5 – Графіки лінійної швидкості та прискорення ЛПУ

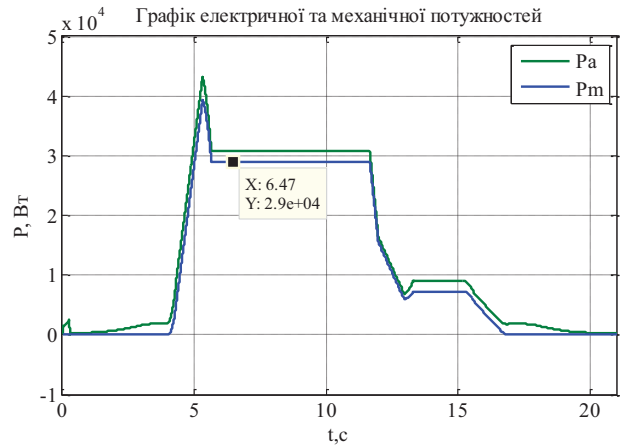


Рисунок 5.6 – Графіки електричної та механічної потужностей ЛПУ при $M_c = M_n = 290 (H \cdot m)$

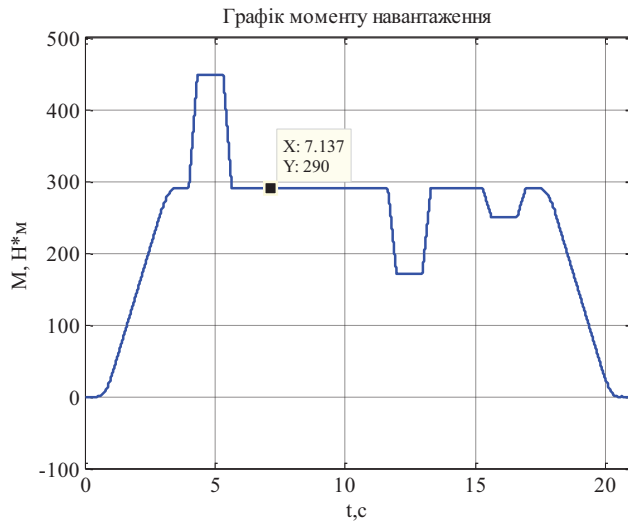


Рисунок 5.7 – Графік моменту навантаження на валу двигуна при $M_c = M_n = 290 (H \cdot m)$

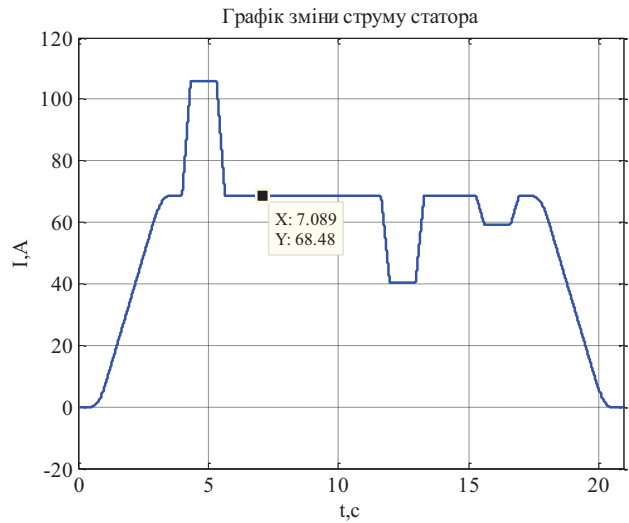


Рисунок 5.8 – Графік струму статора при $M_c = M_n = 290 (H \cdot m)$

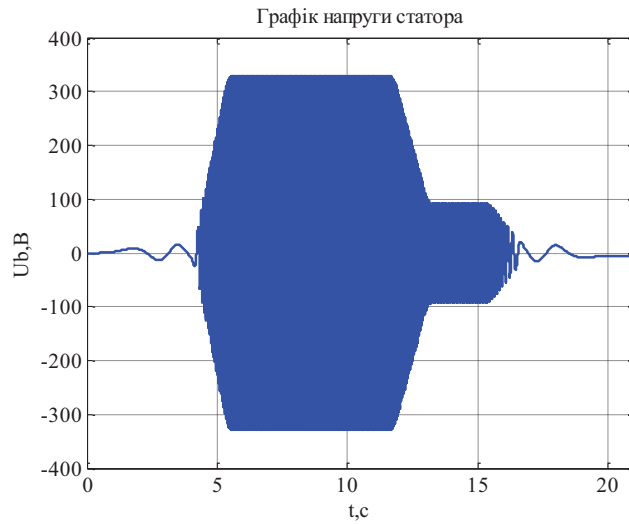


Рисунок 5.9 – Графік напруги статора

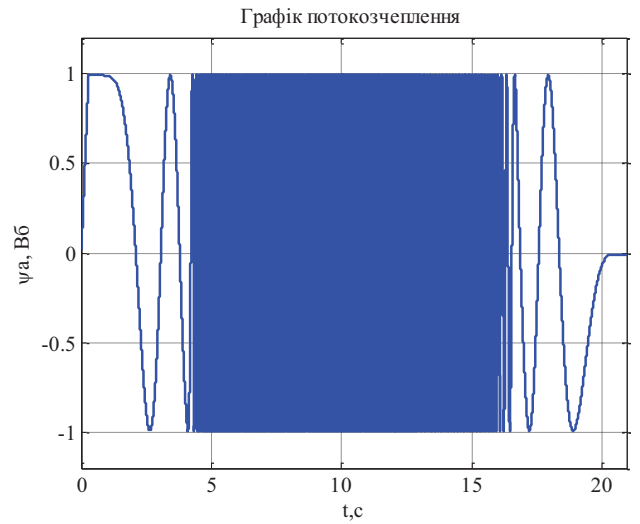


Рисунок 5.10 – Графік потокозчеплення

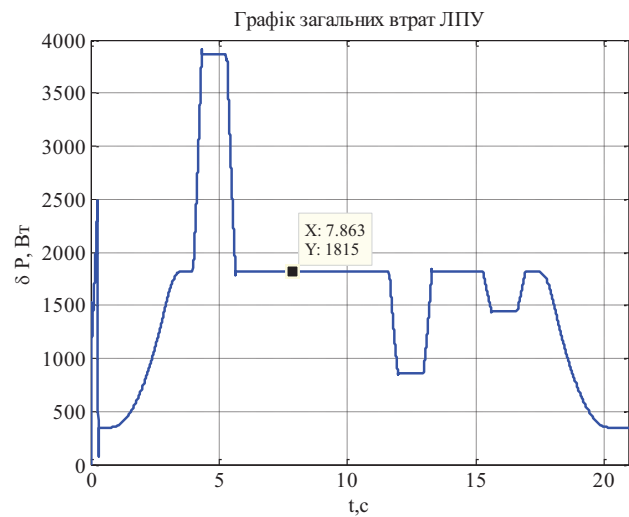


Рисунок 5.11 – Графік загальних втрат в системі ЛПУ при $M_c = M_n = 290 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

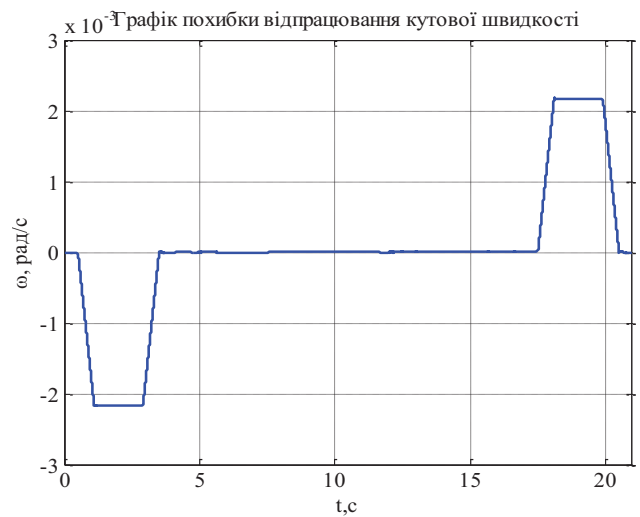


Рисунок 5.12 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості

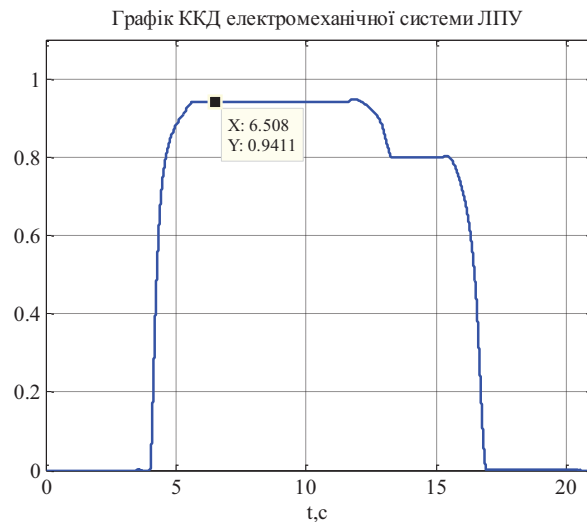


Рисунок 5.13 – Графік ККД електромеханічної системи ЛПУ при

$$M_c = M_n = 290 (H \cdot m)$$

Відповідно до рис.5.6 та рис.5.7, алгоритм руху кабіни виглядає наступним чином.

- 1) Від $t = 0$ до $t = 3$ кабіна ліфта нерухома, відбувається її завантаження.
- 2) Від $t = 3$ до $t = 5.65$ - розгін до максимальної швидкості, від $t = 5.65$ до $t = 11.65$ - рух з постійною швидкістю $V = 1.6 \frac{m}{c}$,
- 3) З $t = 11.65$ до $t = 13.3$ - відбувається уповільнення кабіни до зупиночної швидкості $V = 0.4 \frac{m}{c}$, який продовжується до $t = 15.3$
- 4) З $t = 15.3$ до $t = 17$ - відбувається повна зупинка кабіни.

Результати моделювання роботи ліфтової підйомної установки, при навантаженні двигуна $M_c = 0.3 \cdot M_n = 87 \text{ (H} \cdot \text{м)}$ зображені на рис.5.14–рис.5.19

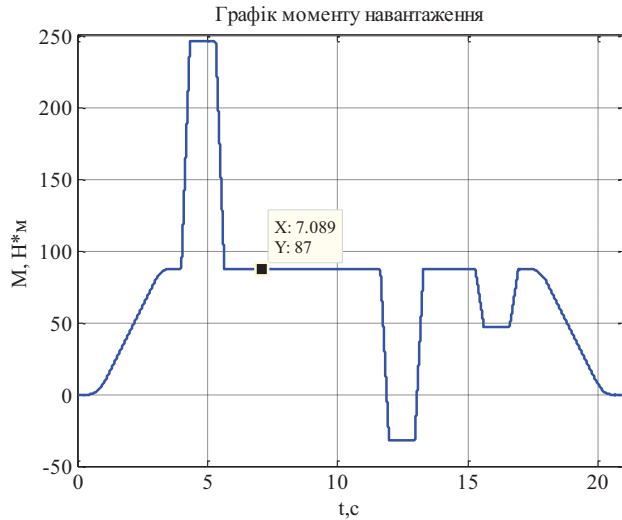


Рисунок 5.14 – Графік моменту навантаження на валу двигуна при $M_c = 0.3 \cdot M_n = 87 \text{ (H} \cdot \text{м)}$

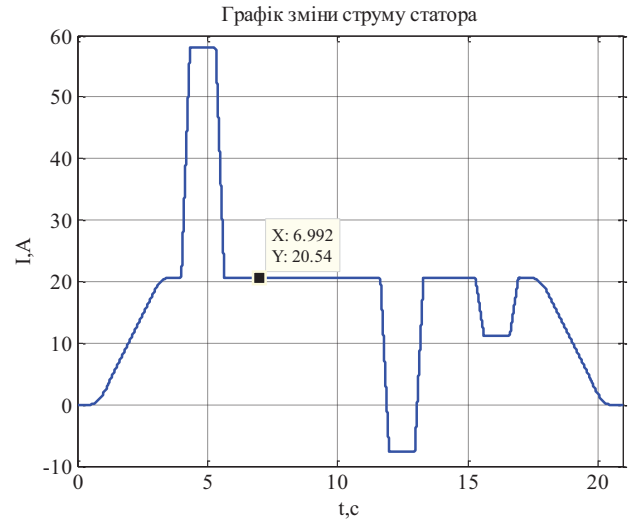


Рисунок 5.15 – Графік струму статора при $M_c = 0.3 \cdot M_n = 87 \text{ (H} \cdot \text{м)}$

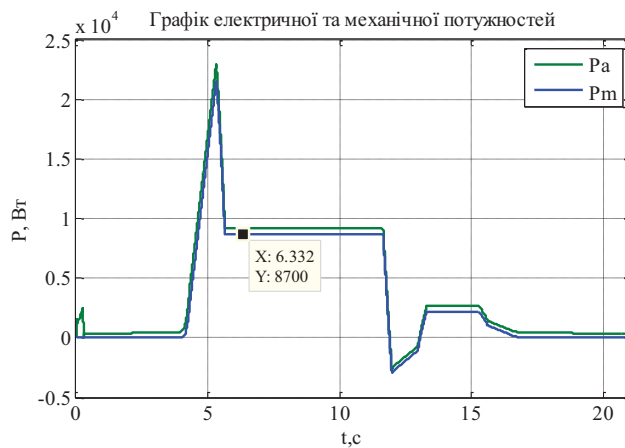


Рисунок 5.16 – Графік електричної та механічної потужностей ЛПУ при $M_c = 0.3 \cdot M_n = 87 \text{ (H} \cdot \text{м)}$

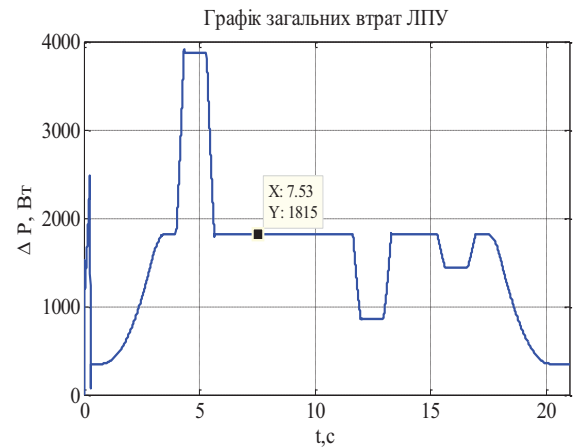


Рисунок 5.17 – Графік загальних втрат ЛПУ при $M_c = 0.3 \cdot M_n = 87 \text{ (H} \cdot \text{м)}$

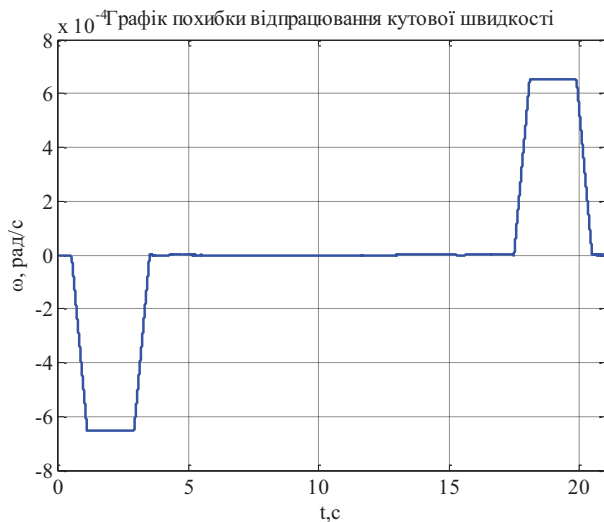


Рисунок 5.18 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості при $M_c = 0.3 \cdot M_n = 87 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

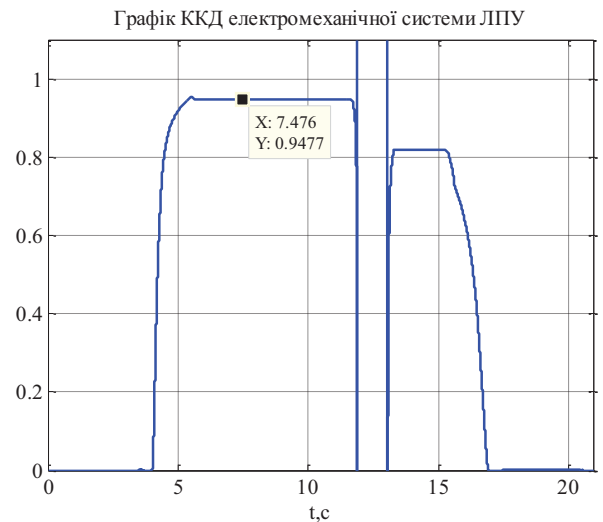


Рисунок 5.19 – Графік ККД електромеханічної системи ЛПУ при $M_c = 0.3 \cdot M_n = 87 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

Результати моделювання роботи ліфтової підйомної установки, при навантаженні двигуна $M_c = 0.5 \cdot M_n = 145 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$ зображені на рис.5.20 – рис.5.25

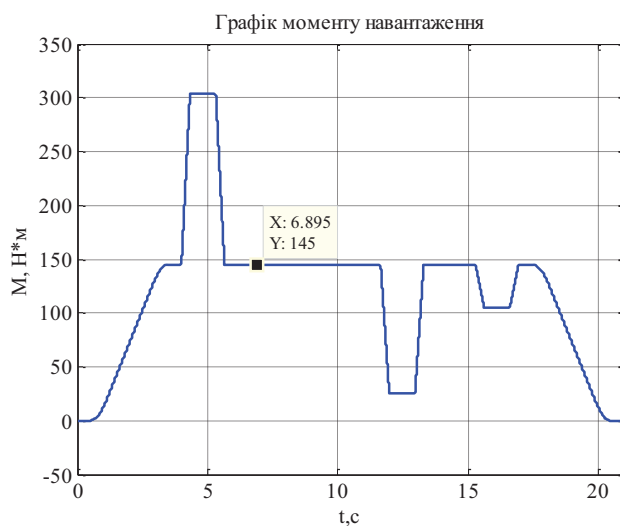


Рисунок 5.20 – Графік моменту навантаження на валу двигуна при $M_c = 0.5 \cdot M_n = 145 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

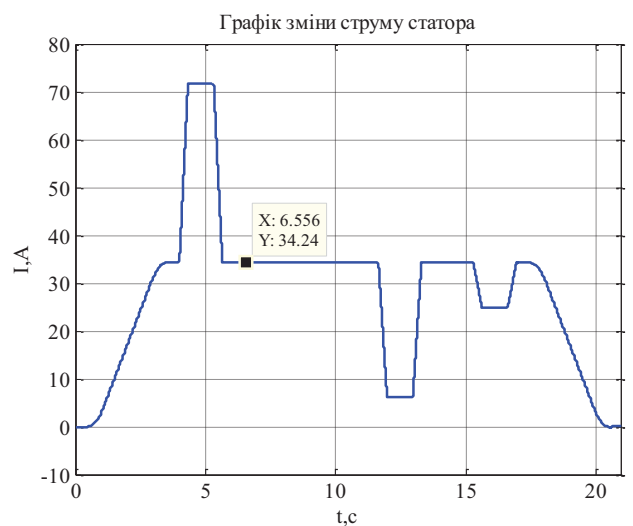


Рисунок 5.21 – Графік струму статора при $M_c = 0.5 \cdot M_n = 145 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

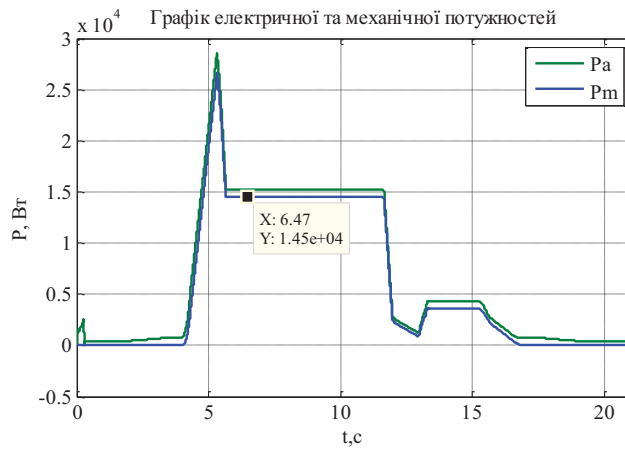


Рисунок 5.22 – Графік електричної та механічної потужностей ЛПУ при $M_c = 0.5 \cdot M_n = 145 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

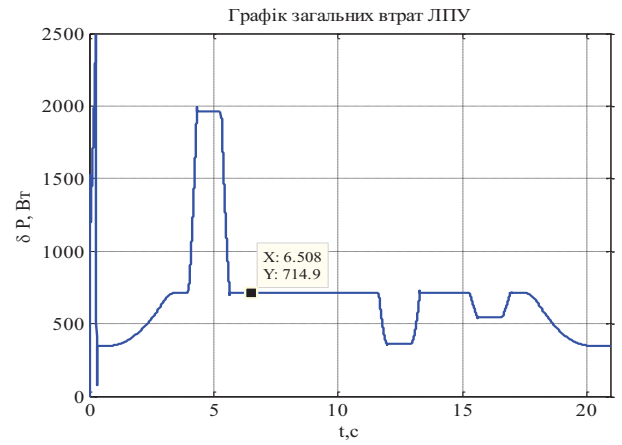


Рисунок 5.23 – Графік загальних втрат ЛПУ при $M_c = 0.5 \cdot M_n = 145 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

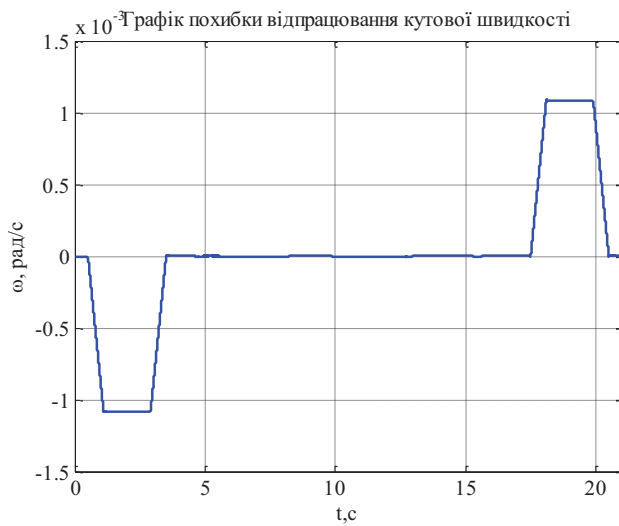


Рисунок 5.24 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості при $M_c = 0.5 \cdot M_n = 145 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

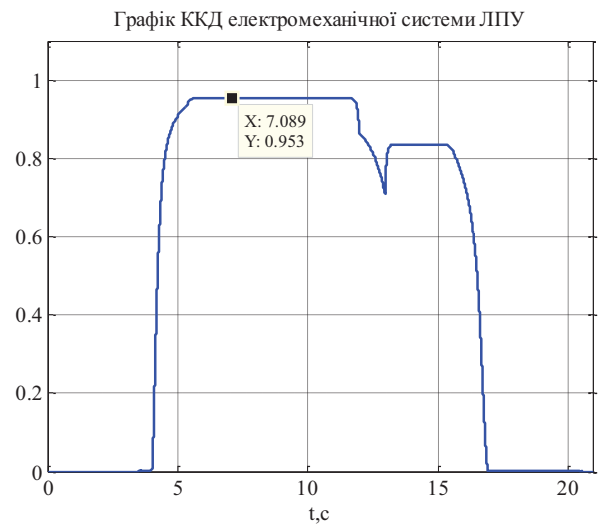


Рисунок 5.25 – Графік ККД електромеханічної системи ЛПУ при $M_c = 0.5 \cdot M_n = 145 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

Результати моделювання роботи ліфтової підйомної установки, при навантаженні двигуна $M_c = 0.7 \cdot M_n = 203 \text{ (H} \cdot \text{м)}$ зображені на рис.5.26–рис.5.31

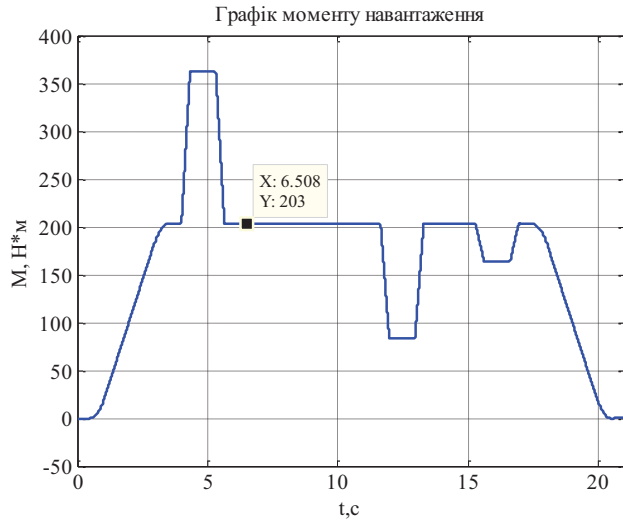


Рисунок 5.26 – Графік моменту навантаження на валу двигуна при $M_c = 0.7 \cdot M_n = 203 \text{ (H} \cdot \text{м)}$

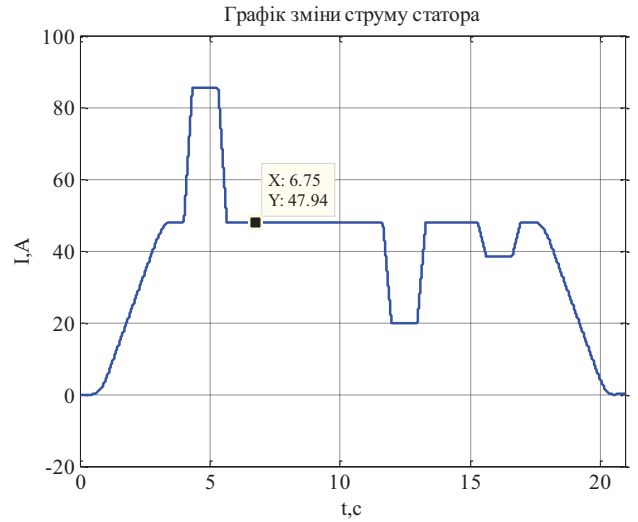


Рисунок 5.27 – Графік струму статора при $M_c = 0.7 \cdot M_n = 203 \text{ (H} \cdot \text{м)}$

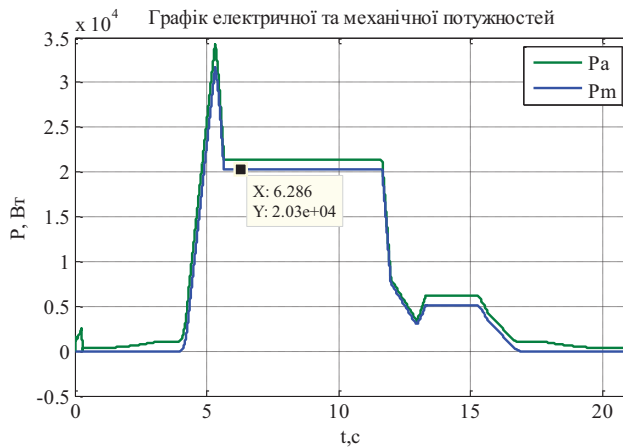


Рисунок 5.28 – Графік електричної та механічної потужностей ЛПУ при $M_c = 0.7 \cdot M_n = 203 \text{ (H} \cdot \text{м)}$

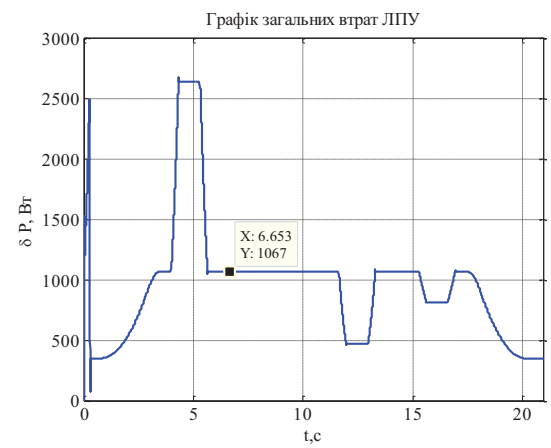


Рисунок 5.29 – Графік загальних втрат ЛПУ при $M_c = 0.7 \cdot M_n = 203 \text{ (H} \cdot \text{м)}$

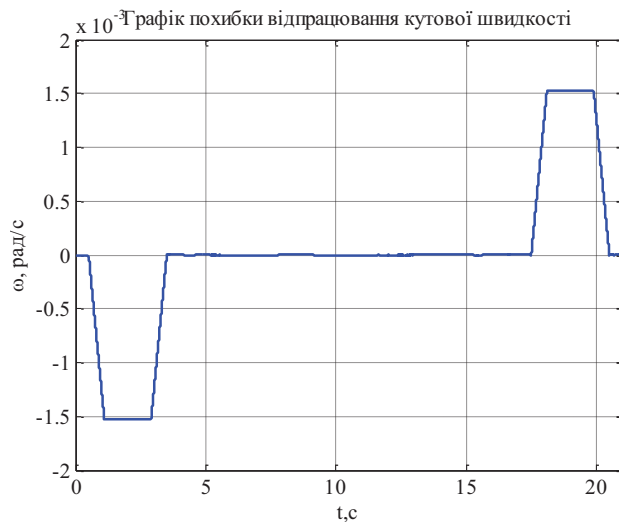


Рисунок 5.30 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості при $M_c = 0.7 \cdot M_n = 203 (H \cdot m)$

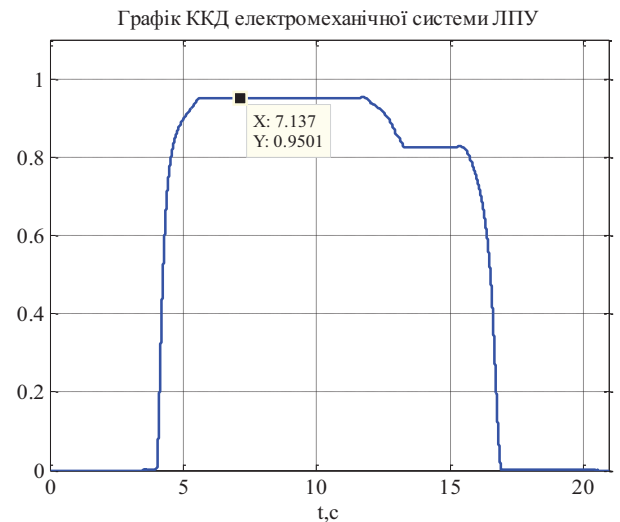


Рисунок 5.31 – Графік ККД електромеханічної системи ЛПУ при $M_c = 0.7 \cdot M_n = 203 (H \cdot m)$

Результати моделювання роботи ліфтової підйомної установки, при навантаженні двигуна $M_c = 0.9 \cdot M_n = 261 (H \cdot m)$ зображені на рис.5.32 – рис.5.37

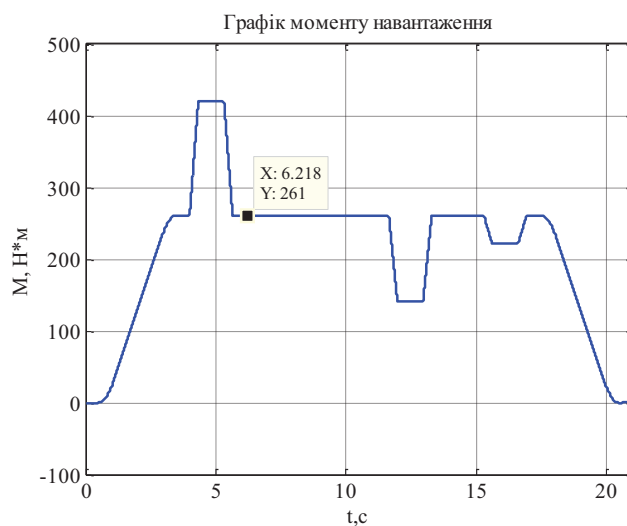


Рисунок 5.32 – Графік моменту навантаження на валу двигуна при $M_c = 0.9 \cdot M_n = 261 (H \cdot m)$

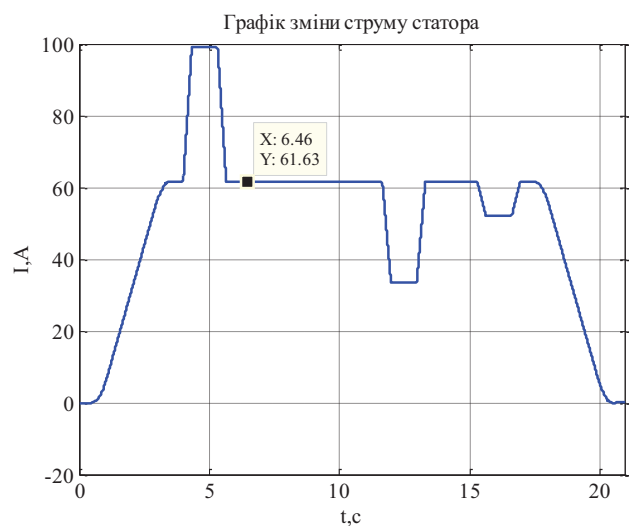


Рисунок 5.33 – Графік струму статора при $M_c = 0.9 \cdot M_n = 261 (H \cdot m)$

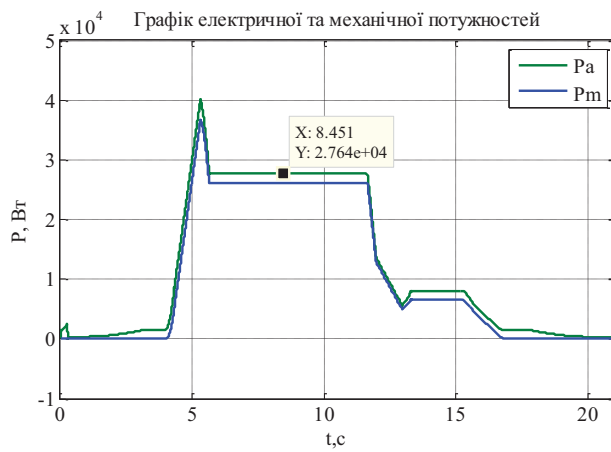


Рисунок 5.34 – Графік електричної та механічної потужностей ЛПУ при $M_c = 0.9 \cdot M_n = 261 (H \cdot m)$

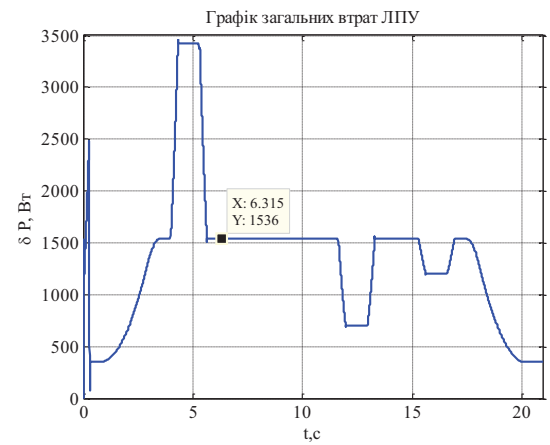


Рисунок 5.35 – Графік загальних втрат ЛПУ при $M_c = 0.9 \cdot M_n = 261 (H \cdot m)$

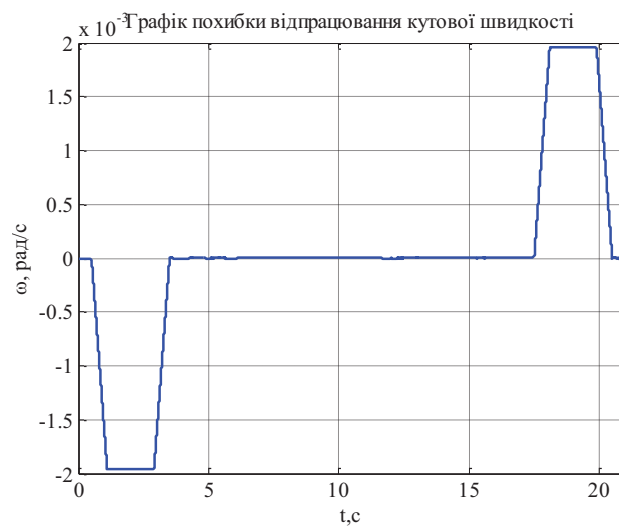


Рисунок 5.36 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості при $M_c = 0.9 \cdot M_n = 261 (H \cdot m)$

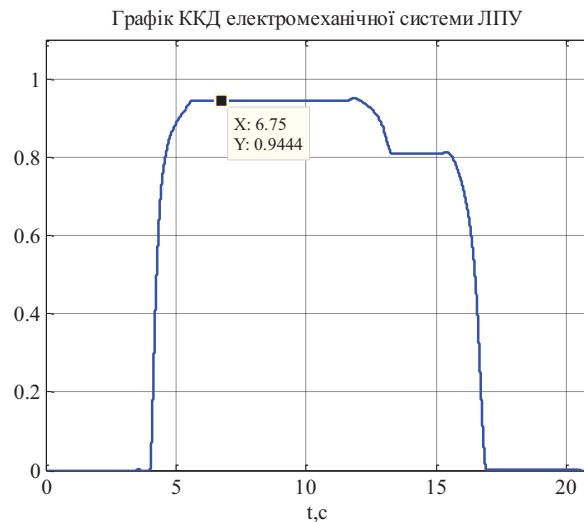


Рисунок 5.37 – Графік ККД електромеханічної системи ЛПУ при

$$M_c = 0.9 \cdot M_n = 261 (H \cdot m)$$

5.3 Дослідження динамічних характеристик ліфтової підйомної установки без періоду дотягування.

Номінальне навантаження. Результати моделювання роботи ліфтової підйомної установки, при номінальному навантаженні двигуна $M_c = M_n = 290 (H \cdot m)$ та відсутності швидкості дотягування зображені на рис.5.38 – рис.5.48

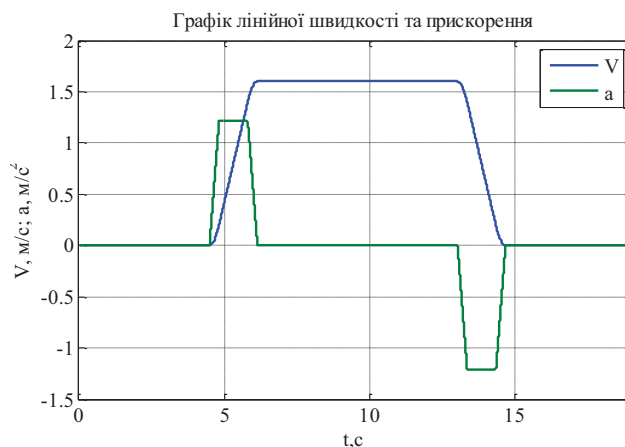


Рисунок 5.38 – Графіки лінійної швидкості та прискорення ЛПУ

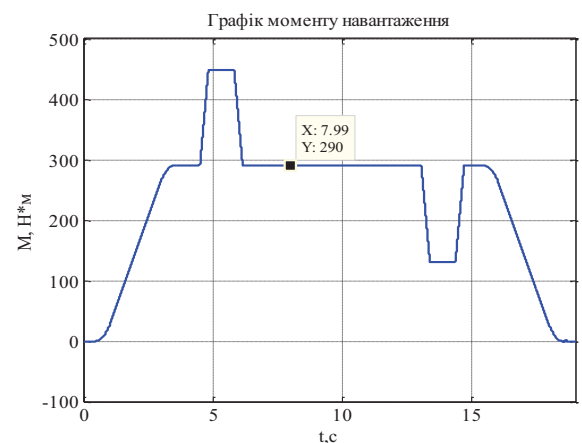


Рисунок 5.39 – Графік моменту навантаження на валу двигуна при

$$M_c = M_n = 290 (H \cdot m)$$

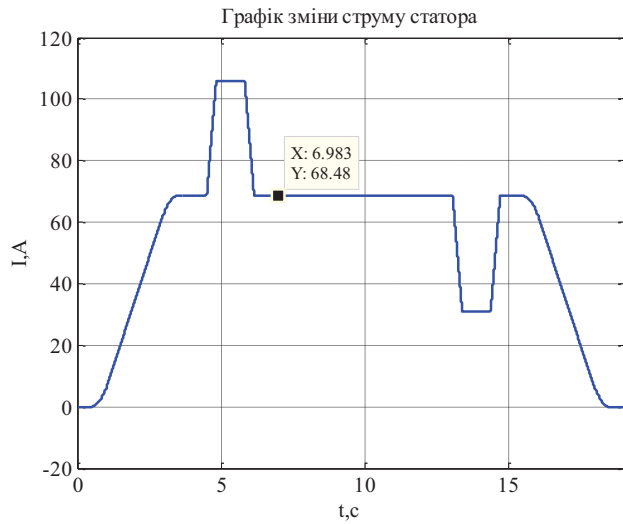


Рисунок 5.40 – Графік струму статора при $M_c = M_n = 290 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

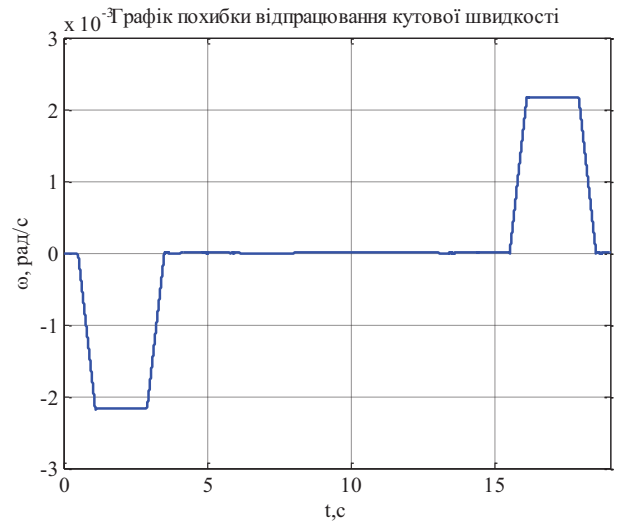


Рисунок 5.41 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості

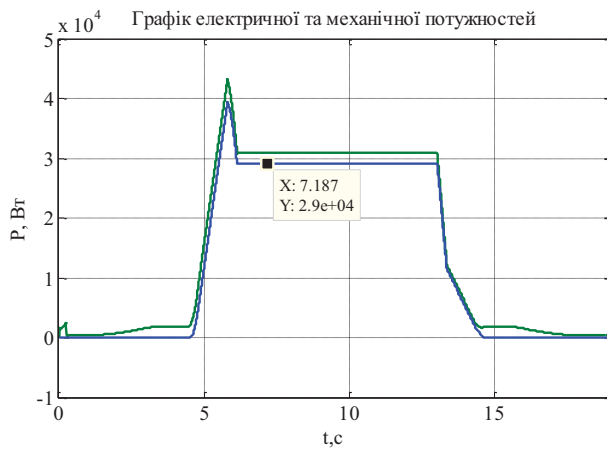


Рисунок 5.42 – Графіки електричної та механічної потужностей ЛПУ при $M_c = M_n = 290 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

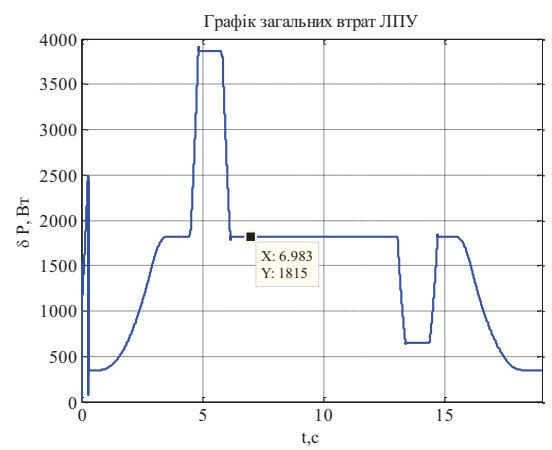


Рисунок 5.43 – Графік механічних втрат в системі ЛПУ при $M_c = M_n = 290 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

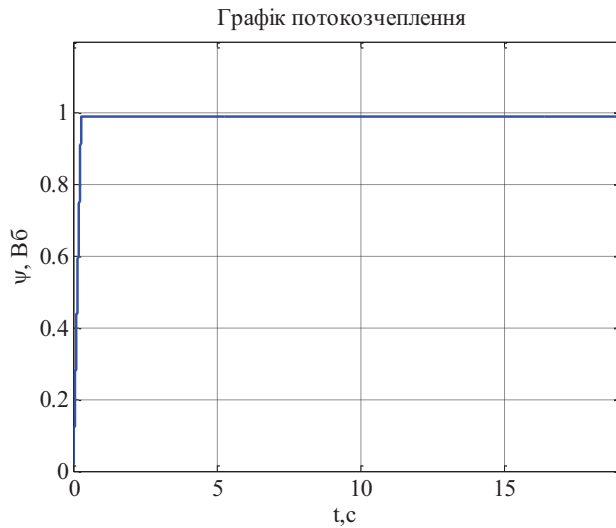


Рисунок 5.44 – Графік потокозчеплення при $M_c = M_n = 290 (H \cdot m)$

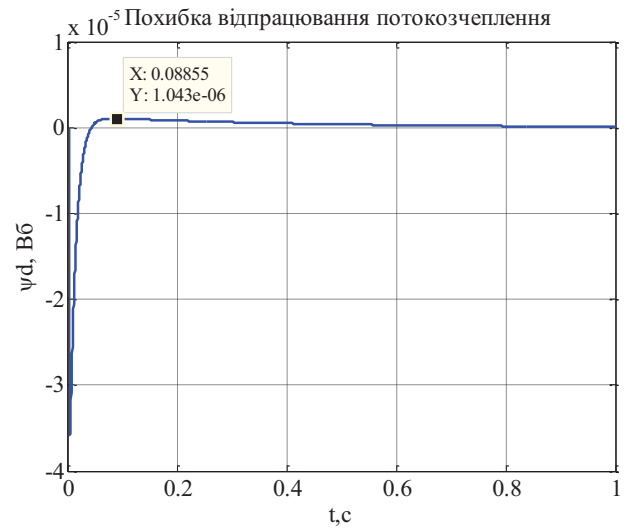


Рисунок 5.45 – Графік похибки відпрацювання потокозчеплення при $M_c = M_n = 290 (H \cdot m)$

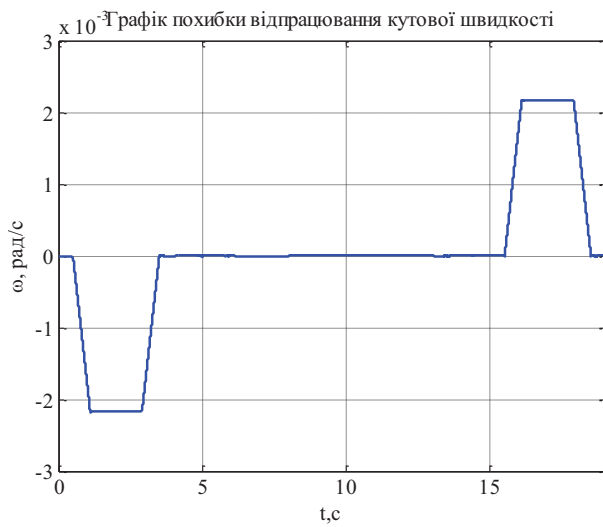


Рисунок 5.46 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості при $M_c = M_n = 290 (H \cdot m)$

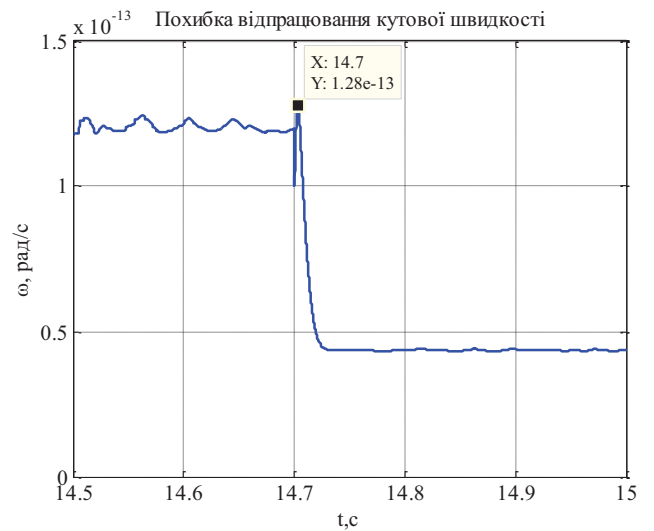


Рисунок 5.47 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості в момент зупинки кабіни при $M_c = M_n = 290 (H \cdot m)$

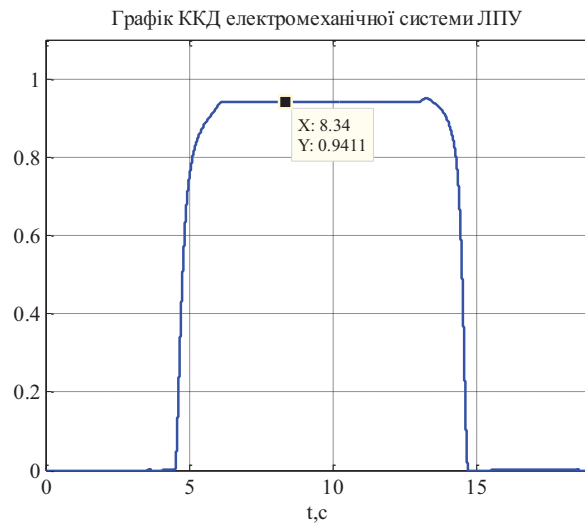


Рисунок 5.48 – Графік ККД електромеханічної системи ЛПУ при

$$M_c = M_n = 290 (H \cdot m)$$

Результати моделювання роботи ліфтової підйомної установки, при навантаженні двигуна $M_c = 0.3 \cdot M_n = 87 (H \cdot m)$ без швидкості дотягування зображені на рис.5.49 – рис.5.55.

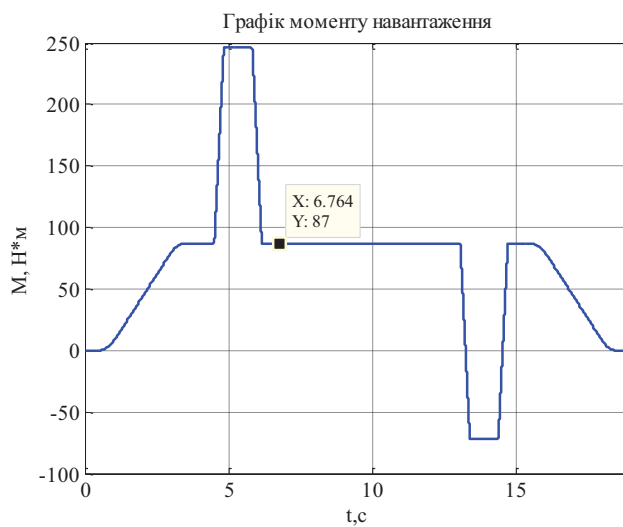


Рисунок 5.49 – Графік моменту навантаження на валу двигуна при

$$M_c = 0.3 \cdot M_n = 87 (H \cdot m)$$

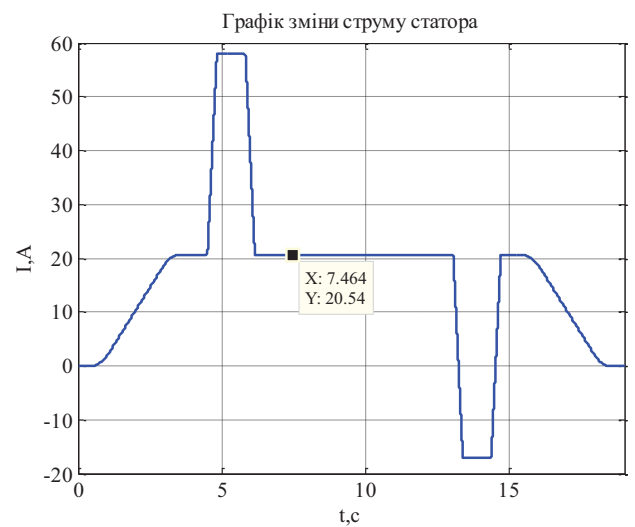


Рисунок 5.50 – Графік струму статора при

$$M_c = 0.3 \cdot M_n = 87 (H \cdot m)$$

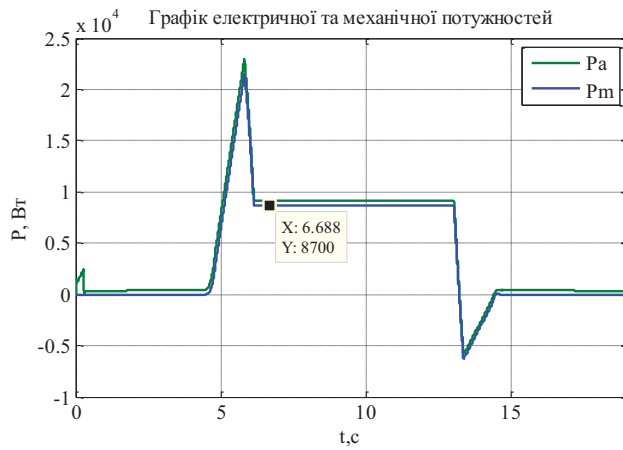


Рисунок 5.51 – Графік електричної та механічної потужностей ЛПУ при $M_c = 0.3 \cdot M_n = 87 \text{ (H} \cdot \text{м)}$

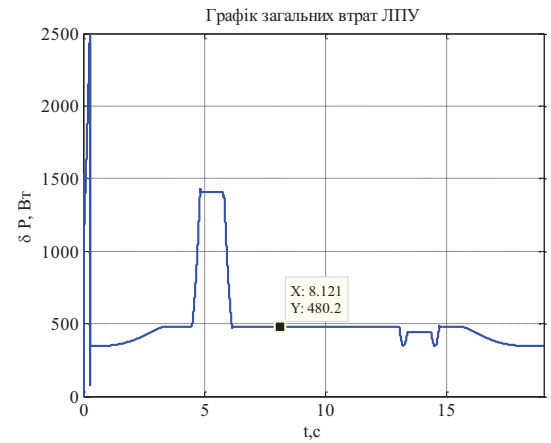


Рисунок 5.52 – Графік загальних втрат ЛПУ при $M_c = 0.3 \cdot M_n = 87 \text{ (H} \cdot \text{м)}$

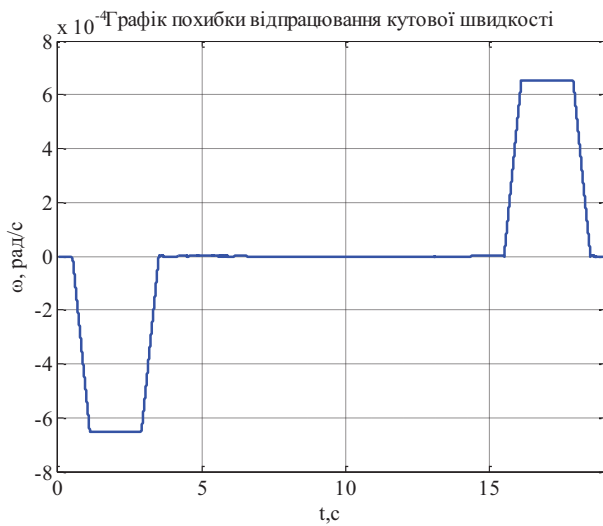


Рисунок 5.53 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості при $M_c = 0.3 \cdot M_n = 87 \text{ (H} \cdot \text{м)}$

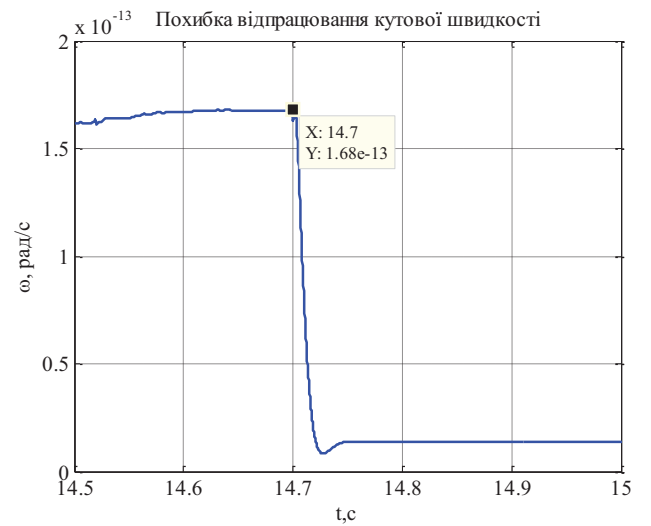


Рисунок 5.54 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості в момент зупинки кабіни при $M_c = 0.3 \cdot M_n = 87 \text{ (H} \cdot \text{м)}$

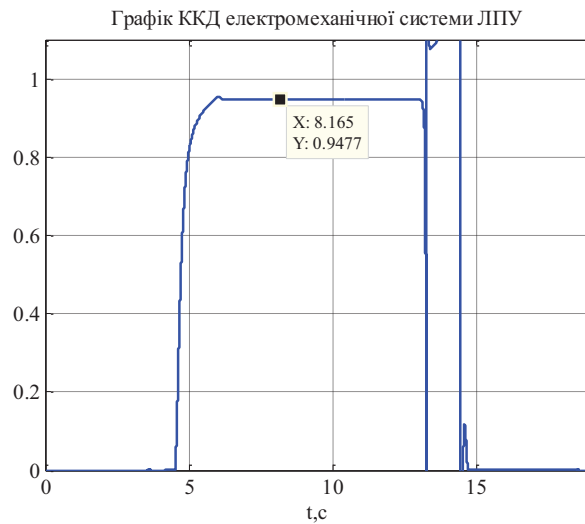


Рисунок 5.55 – Графік ККД електромеханічної системи ЛПУ при

$$M_c = 0.3 \cdot M_n = 87 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Результати моделювання роботи ліфтової підйомної установки, при навантаженні двигуна $M_c = 0.5 \cdot M_n = 145 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$ без швидкості дотягування зображені на рис.5.56 – рис.5.62

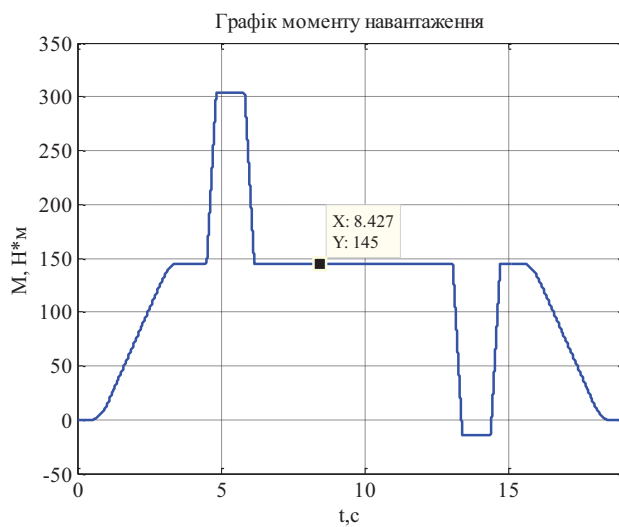


Рисунок 5.56 – Графік моменту навантаження на валу двигуна при

$$M_c = 0.5 \cdot M_n = 145 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

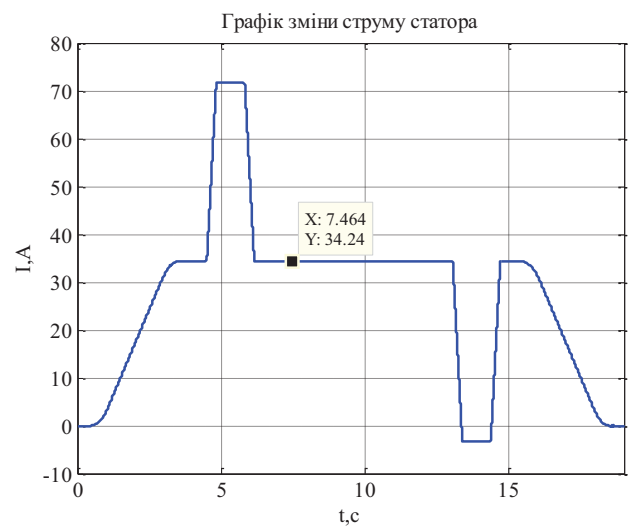


Рисунок 5.57 – Графік струму статора при

$$M_c = 0.5 \cdot M_n = 145 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

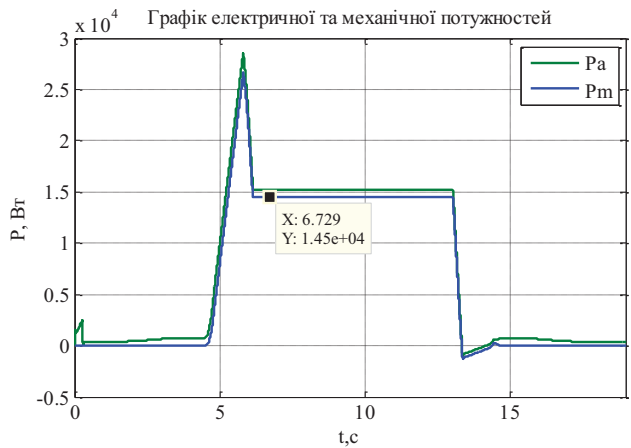


Рисунок 5.58 – Графік електричної та механічної потужностей ЛПУ при $M_c = 0.5 \cdot M_n = 145 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

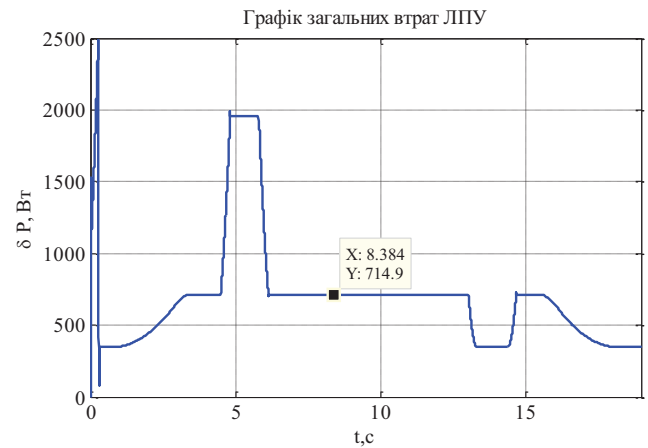


Рисунок 5.59 – Графік загальних втрат ЛПУ при $M_c = 0.5 \cdot M_n = 145 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

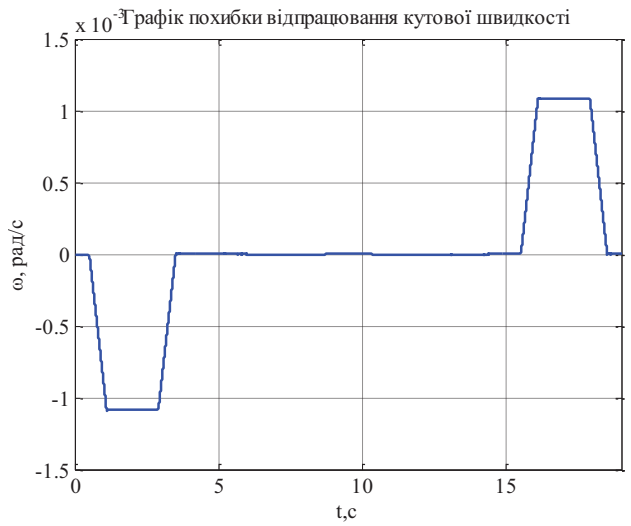


Рисунок 5.60 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості при $M_c = 0.5 \cdot M_n = 145 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

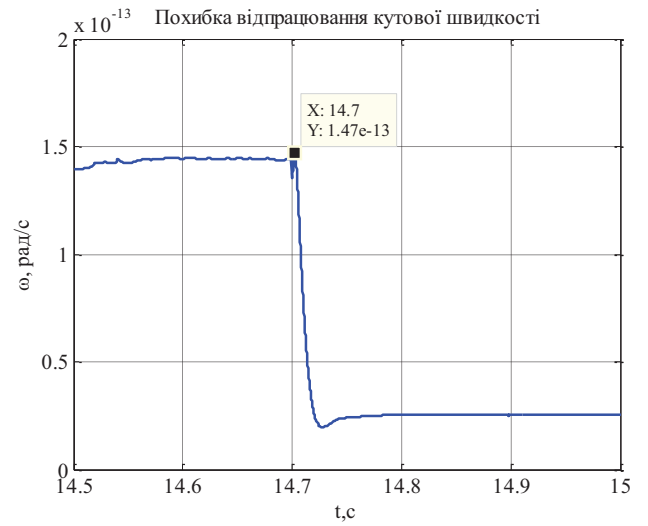


Рисунок 5.61 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості в момент зупинки кабіни при $M_c = 0.5 \cdot M_n = 145 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$

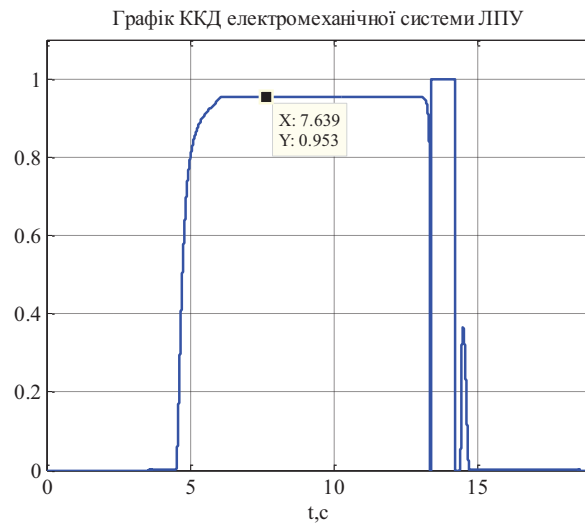


Рисунок 5.62 – Графік ККД електромеханічної системи ЛПУ при

$$M_c = 0.5 \cdot M_n = 145 \text{ (H} \cdot \text{м)}$$

Результати моделювання роботи ліфтової підйомної установки, при навантаженні двигуна $M_c = 0.7 \cdot M_n = 203 \text{ (H} \cdot \text{м)}$ зображені на рис.5.63–рис.5.69.

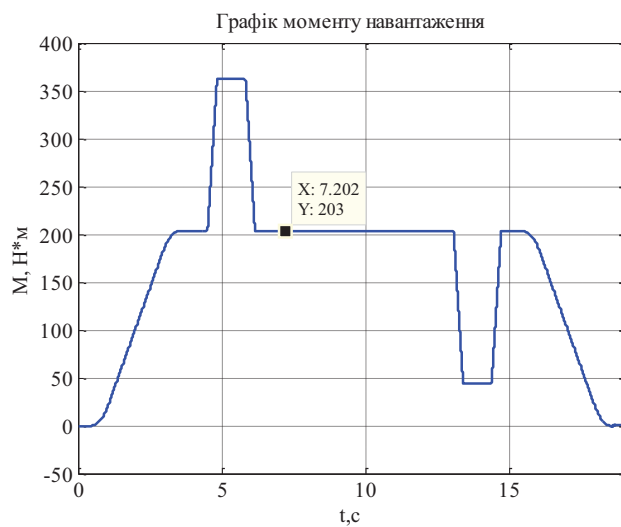


Рисунок 5.63 – Графік моменту навантаження на валу двигуна при

$$M_c = 0.7 \cdot M_n = 203 \text{ (H} \cdot \text{м)}$$

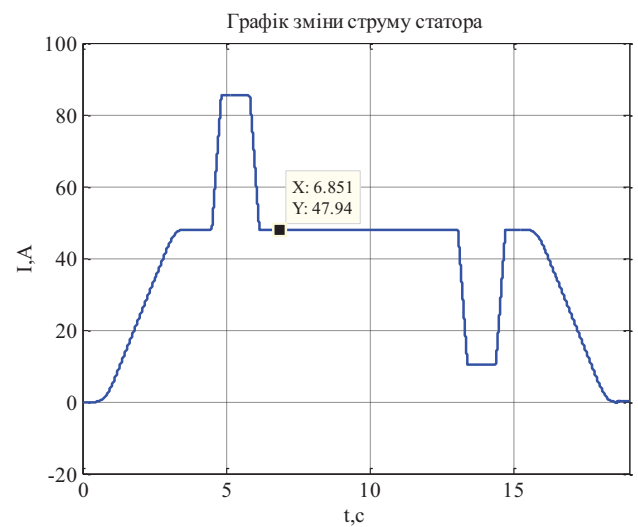


Рисунок 5.64 – Графік струму статора при

$$M_c = 0.7 \cdot M_n = 203 \text{ (H} \cdot \text{м)}$$

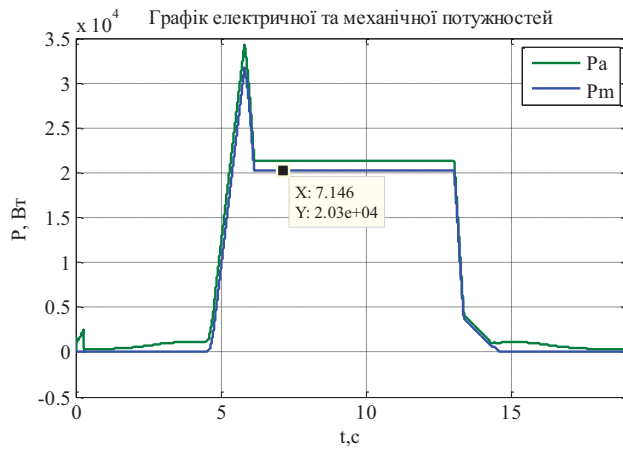


Рисунок 5.65 – Графік електричної та механічної потужностей ЛПУ при $M_c = 0.7 \cdot M_n = 203 (H \cdot m)$

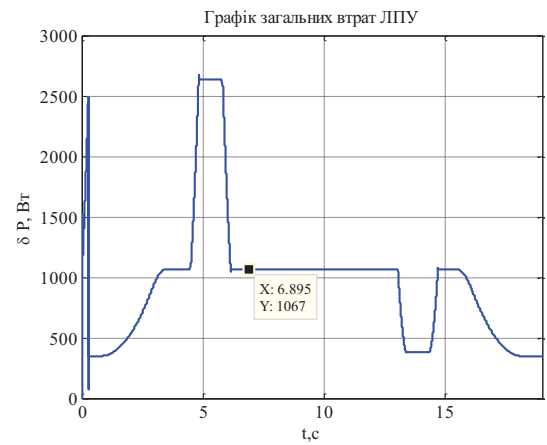


Рисунок 5.66 – Графік загальних втрат ЛПУ при $M_c = 0.7 \cdot M_n = 203 (H \cdot m)$

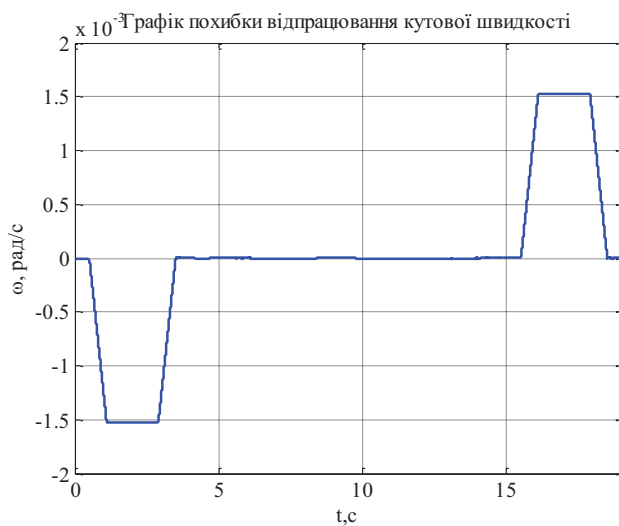


Рисунок 5.67 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості при $M_c = 0.7 \cdot M_n = 203 (H \cdot m)$

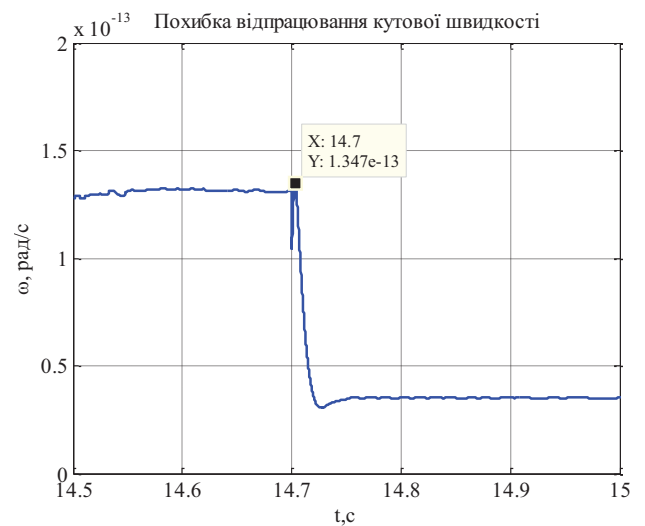


Рисунок 5.68 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості в момент зупинки кабіни при $M_c = 0.7 \cdot M_n = 203 (H \cdot m)$

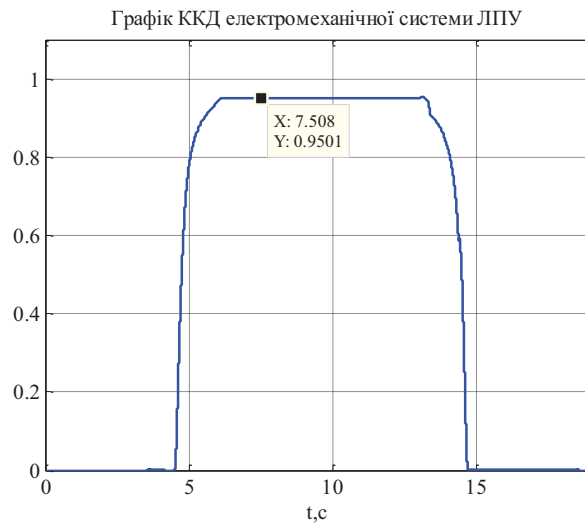


Рисунок 5.69 – Графік ККД електромеханічної системи ЛПУ при

$$M_c = 0.7 \cdot M_n = 203 (H \cdot m)$$

Результати моделювання роботи ліфтової підйомної установки, при навантаженні двигуна $M_c = 0.9 \cdot M_n = 261 (H \cdot m)$ та відсутності швидкості дотягування зображені на рис.5.70 –рис.5.76

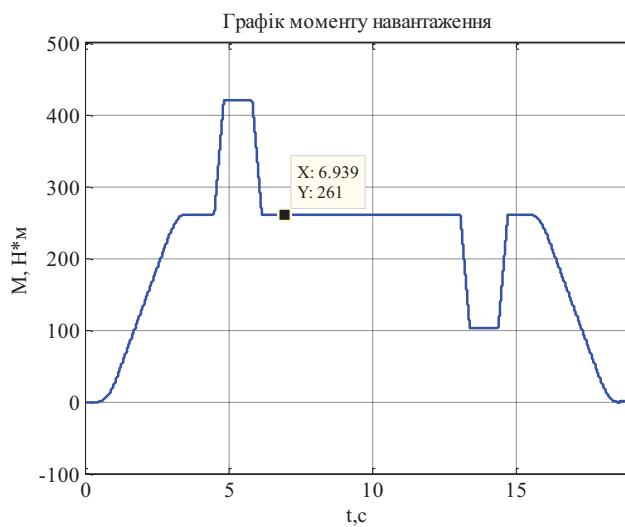


Рисунок 5.70 – Графік моменту навантаження на валу двигуна при

$$M_c = 0.9 \cdot M_n = 261 (H \cdot m)$$

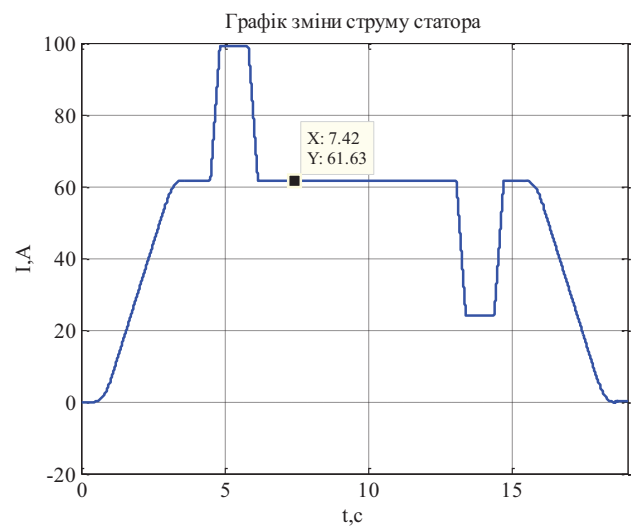


Рисунок 5.71 – Графік струму статора при

$$M_c = 0.9 \cdot M_n = 261 (H \cdot m)$$

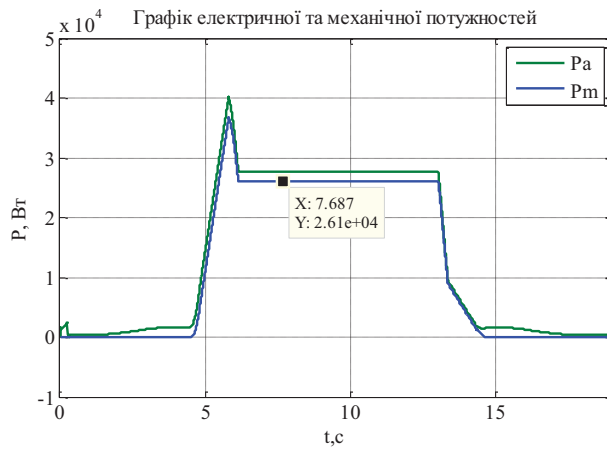


Рисунок 5.72 – Графік електричної та механічної потужностей ЛПУ при $M_c = 0.9 \cdot M_n = 261 (H \cdot m)$

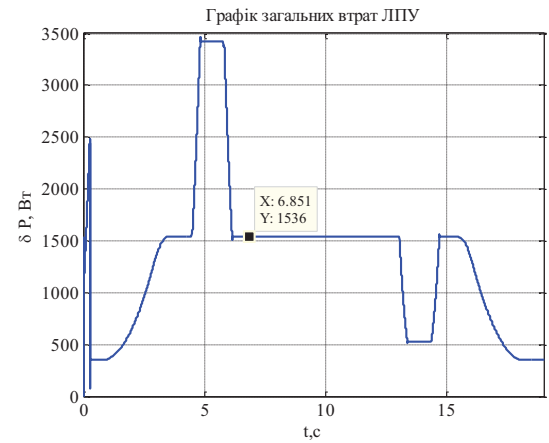


Рисунок 5.73 – Графік загальних втрат ЛПУ при $M_c = 0.9 \cdot M_n = 261 (H \cdot m)$

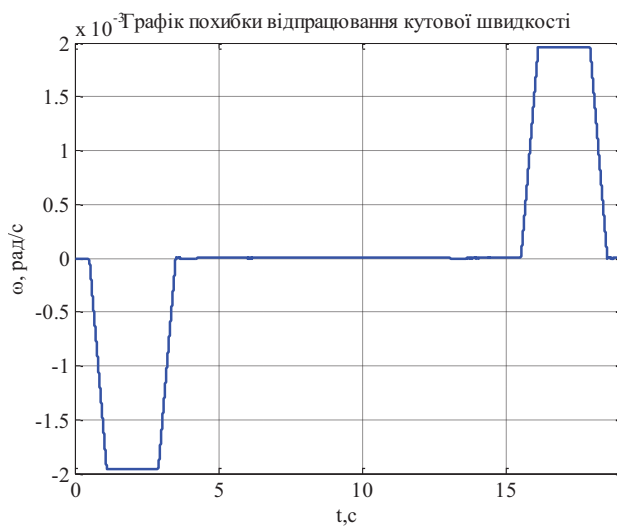


Рисунок 5.74 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості при $M_c = 0.9 \cdot M_n = 261 (H \cdot m)$

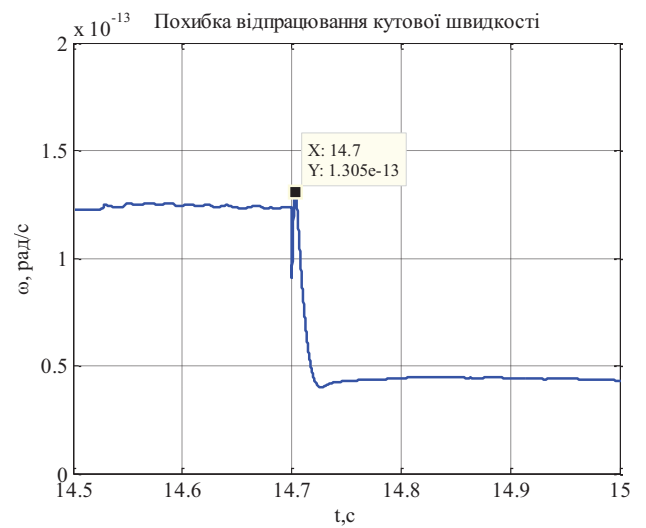


Рисунок 5.75 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості в момент зупинки кабіни при $M_c = 0.9 \cdot M_n = 261 (H \cdot m)$

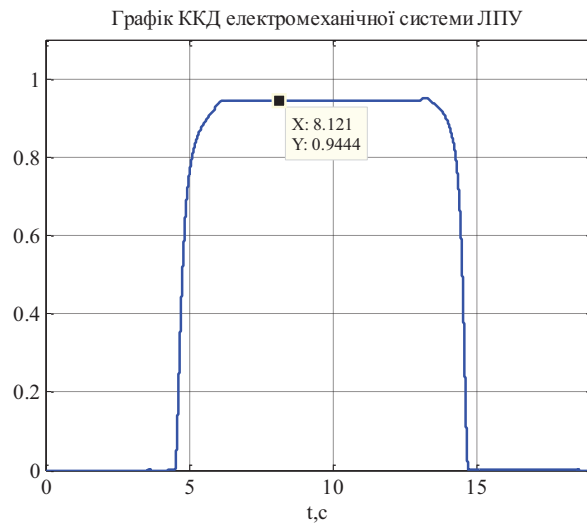


Рисунок 5.76 – Графік ККД електромеханічної системи ЛПУ при

$$M_c = 0.9 \cdot M_n = 261 (H \cdot m)$$

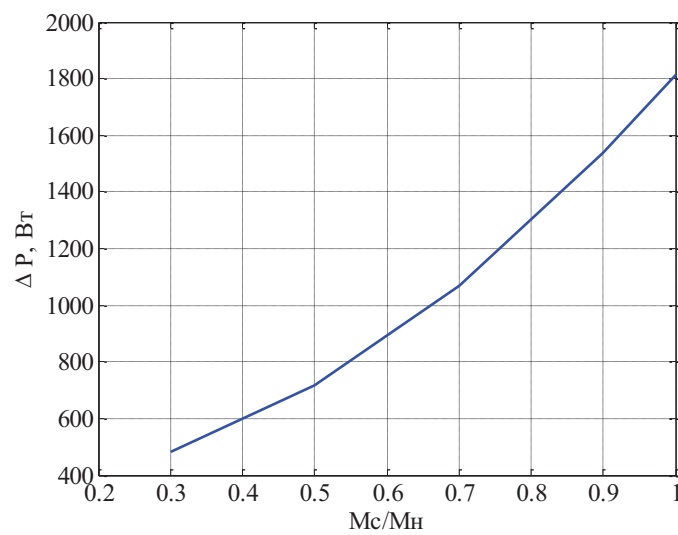


Рисунок 5.77 – Графік залежності загальних втрат ЛПУ від моменту статичного навантаження

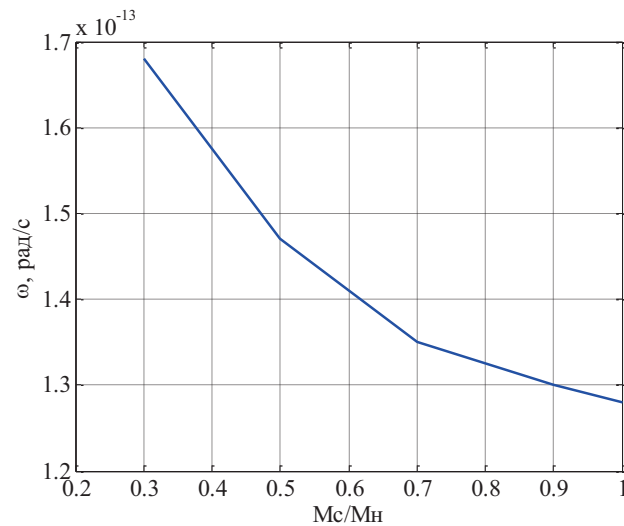


Рисунок 5.78 – Графік залежності похибки відпрацювання швидкості в момент зупинки кабіни від моменту статичного навантаження

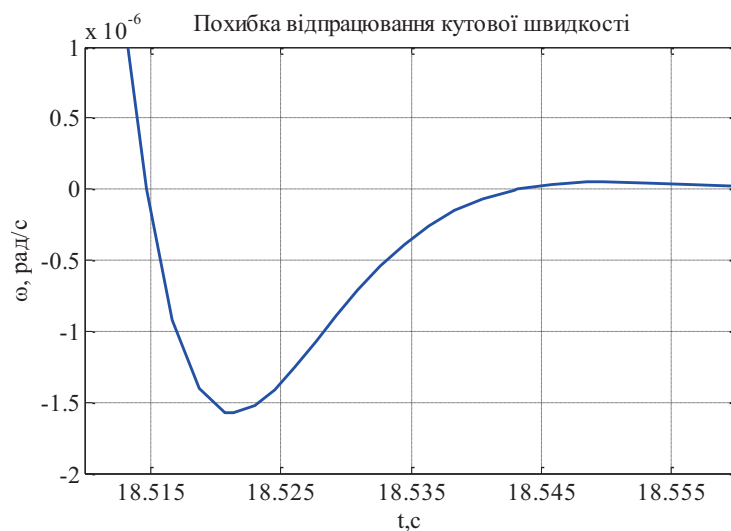


Рисунок 5.79 – Графік похибки відпрацювання кутової швидкості в момент розвантаження кабіни без режиму дотягування та $M_c = M_n = 290$ (Н·м)

Таблиця 5.1 – Показники потужностей, втрат потужності та похибки відпрацювання швидкості в моменти зупинки кабіни при різних варіаціях навантаження ЛПУ.

M_c , Н	P_a , Вт	P_m , Вт	Втрати ΔP , Вт	Втрати ΔP , %	$\tilde{\omega}$, $\cdot 10^{-13}$ рад/с
$0.3M_n = 87$	9180	8700	480	5.22	1.68

$0.5M_H = 145$	15214	14500	714	4.69	1.47
$0.7M_H = 203$	21587	20300	1067	4.94	1.34
$0.9M_H = 261$	27636	26100	1536	5.55	1.3
$M_H = 290$	30815	29000	1815	5.88	1.28

де $M_c = \frac{M_c}{M_H}$; $\Delta P = P_a - P_m$; $\Delta P = \frac{P_a - P_m}{P_a} \cdot 100\%$; P_a – електрична потужність; P_m –

механічна потужність на валу двигуна; \tilde{w} – похибка по швидкості.

Крім цього було проведено дослідження зміни споживаної потужності в межах повного циклу роботи ЛПУ при наявності режиму дотягування та без нього. Для цього за допомогою MATLAB «Simulink» була визначена кількість енергії E , як $\int P_a$ для різних ступенів завантаження кабіни. Результати дослідження наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Зміна кількості виділеної енергії за цикл роботи ЛПУ в залежності від наявності режиму дотягування.

M_c, H	$E, 10^5 \text{ Дж}$ з дотягуванням	$E, 10^5 \text{ Дж}$ без дотягування	$\Delta E, \%$
$0.3M_H = 87$	6.45	6.4385	0.15
$0.5M_H = 145$	12.416	12.397	0.15
$0.7M_H = 203$	16.382	16.356	0.15
$0.9M_H = 261$	22.346	22.315	0.148
$M_H = 290$	24.831	24.8	0.145

5.4. Аналіз результатів досліджень

Результати досліджень показують, що при використанні електропривода з векторним керуванням і п'ятиперіодною діаграмою швидкості рівень втрат активної потужності ΔP при варіаціях статичного навантаження від $M_c = 0.3 \cdot M_{сн}$ до $M_c = M_{сн}$ знаходяться у межах від 5,22% до 5,88%. При цьому рівень динамічної похибки $\tilde{\omega}$ в моменти повної зупинки кабіни не перевищує $1.68 \cdot 10^{-13} \text{ рад/с}^2$ при $M_c = 0.3 \cdot M_{сн}$.

У разі відсутності періоду дотягування за рахунок зменшення часу технологічного циклу ЛПУ виникає додатковий ресурс по продуктивності ЛПУ, поліпшуються показники енергетичної ефективності. Як видно з рис.5.6 час дотягування складає $t_{\text{дот}} = 4.5 \text{ с}$, що складає приблизно 4% від повного циклу технологічного процесу. Враховуючи що таких циклів у годині – 26, у добі – 182 (якщо брати 7 годин роботи ЛПУ на добу). Тоді вивільнений час ЛПУ складає 819 с на добу, тобто 6 циклів. В результаті виникає суттєва економія енергоресурсів в процесі експлуатації ЛПУ.

Висновки до розділу 5

Результати досліджень показали, що використання векторно-керованих асинхронних електроприводів для ліфтових підйомних установок дасть можливість з високим ступенем точності відпрацювати задану діаграму швидкості. Помилка за швидкістю в точці зупинки підйомної посудини на рівні приймального майданчика, значно менша, ніж встановлено умовами безпеки, що дозволяє відмовитися від періоду затягування і підвищити як техніко-економічні показники ліфтового підйому, так і рівень безпеки переміщення людей і вантажів.

6 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Розроблену електромеханічну систему ліфтової підйомної установки можна запровадити у якості основної моделі ліфта для використання у житлових та адміністративних будівлях. Використання цієї електромеханічної системи дозволить спроектувати нову систему ЛПУ або модернізувати вже діючу систему, при цьому покращивши енергетичні характеристики системи та отримавши високу точність позиціонування кабіни.

У цьому розділі виконано розробку стартап-проекту враховуючи маркетингові та ринкові особливості.

У табл. 6.1-6.2. наведено опис реалізації розробленого проекту на ринку визначено його слабкі та сильні сторони відносно конкурентів.

Таблиця 6.1 – Опис основних ідей проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигода для користувача</i>
Дослідження методів які дозволяють підвищити ефективність ліфтових підйомних установок на основі векторно-керованого асинхронного двигуна. Використання такої ЕМС покращує енергетичні та динамічні характеристики, в тому числі точність позиціонування.	1. Житлові та адміністративні будівлі підвищеної поверховості.	Покращення динамічних показників роботи ЕМС та комфортності під час руху.

Таблиця 6.2 – Сильні, слабкі та нейтральні характеристики ідеї проекту

<i>n/ n</i>	<i>Техніко- економічні характеристи ки ідеї</i>	<i>(потенційні) товари/концепції конкурентів</i>				<i>W (слабка сторон а)</i>	<i>N (нейт ральн а сторо на)</i>	<i>S (сильна сторон а)</i>
		<i>Мій проект</i>	<i>Конкур ент1</i>	<i>Конкур ент2</i>	<i>Конку- рент3</i>			
·	Можливість зміни швидкості руху тягового канату	Так	Так	Та	Ні		+	
·	Низькі похибки відпрацюван ня швидкості в динамічних режимах	Так	Ні	Так	Так		+	
·	Високі показники енергоефект ивності	Так	Ні	Ні	Ні			+
·	Собівартість	Висока	Низька	Низька	Висока		+	

Виходячи з представлених переваг та недоліків розроблюваного проекту можна оцінити його конкурентну здатність на ринку.

В таблиці 6.3 представлено технологічний аудит ідеї проекту.

Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
1.	Розробка елементів ЕМС ліфтової підйомної установки	Розраховані елементи ЛПУ	Наявна	Доступна
		Індивідуальний розрахунок елементів електромеханічної системи ЛПУ під індивідуальні вимоги замовника	Наявна	Доступна
2.	Встановлення та налагодження ЕМС.	Виконання наладки системи лише кваліфікованими спеціалістами	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: розрахунок елементів електромеханічної системи ЛПУ під індивідуальні вимоги замовника та виконання налагоджувальних робіт.				

В табл.6.4-6.13. представлено аналіз можливостей для впровадження стартап-проекту, а також аналіз можливих загроз, які здатні цьому завадити.

Таблиця 6.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

<i>n/ n</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних конкурентів, од	3
2	Потенційний обсяг продажу, грн	4 421 000
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Необхідність стартового капіталу
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Є
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	ARR=18%

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1.	Необхідність мінімізації втрат потужності, забезпечення надійної роботи без збоїв обладнання та комфортність переміщення	Компанії, що займаються монтажем, налагодженням та обслуговуванням ліфтових підйомних установок.	Власникам діючих ЛПУ не потрібен проект нової ЛПУ, а лише оновлення діючої ЕМС.	Нова ЕМС повинна мати високу надійність, а компанія повинна провести налагоджувальні роботи спеціалістами.

Таблиця 6.6 – Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1.	Конкуренція	Наявність великих перевірених компаній розробників та постачальників на існуючому ринку	Впровадити рекламну кампанію або запропонувати одній з великих компаній на ринку придбати ідею проекту.
2.	Вартість	Висока ціна реалізації запропонованого проекту	Пошук варіантів застосування альтернативних елементів системи які мають нижчу вартість.

Таблиця 6.7 – Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1.	Зростання вимог до якості від потенційних споживачів	Збільшення кількості багатопверхових будівель у містах.	Застосування активної рекламної кампанії або надання тимчасового безкоштовного сервісного обслуговування продукції.
2.	Поширення товару на міжнародному ринку	Можливе тільки в тому випадку коли буде мати значні переваги перед аналогами.	Пошук можливостей для співпраці із закордонними компаніями або інвесторів, які допоможуть просувати товар.

Таблиця 6.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1.Тип конкуренції: олігополія	Конкуренція трьох основних міжнародних компаній-виробників.	Ускладнення для виходу на ринок. Необхідність сильної рекламної кампанії
2.Рівень конкурентної боротьби: міжнаціональна	Всі три компанії міжнародні.	Пошуку можливостей для співпраці з міжнародними компаніями
3. За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Товари фірм-конкурентів застосовуються в галузі ліфтобудування.	Інвестиції в доопрацювання та модернізацію проекту для розширення списку його переваг перед конкурентами.
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Продукція фірм-конкурентів дуже схожа і не має суттєвих відмінностей.	При реалізації проекту необхідно дослідити продукцію конкурентів та врахувати їх недоліки.
5. За характером конкурентних переваг: нецінова	Вдосконалення процесу виготовлення проекту, а також збереження рівня якості при застосуванні більш дешевих елементів.	Застосування дешевших методів розробки проекту, ніж ті, що використовують фірми-конкуренти.
5. За інтенсивністю: не марочна	Бренди відсутні	-

Таблиця 6.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Навести перелік прямих конкурентів	Визначити бар'єри входження в ринок	Визначити фактори сили постачальників	Визначити фактори сили споживачів	Фактори загроз з боку замінників
Висновки:	На ринку закріпилися 3 основних конкуренти: KOYO Elevator Co, TyssenKrupp, ARKEL. Їх продукція відрізняється за конструкцією але має такі самі функції, проте різної якості.	Вихід на ринок можливий протягом 1-го року, оскільки товар конкурентів оспроможний.	Головним фактором сили постачальника є ціна, яку він може від нас вимагати.	Головним фактором сили споживача є зацікавленість в максимальному співвідношенні ціна/якість.	Замінники являтимуть загрозу при умові якщо їх товар матиме ті ж переваги, що і у нас при меншій ціні.

Таблиця 6.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
1.	Надійна проста робота ліфтової установки.	Можливість користування подібними системами людьми, які не мають спеціальних знань та навичок.
2.	Ціна	Ціна даного проекту має нижчу вартість, ніж у конкурентів.

Таблиця 6.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «ЛПУ на основі векторно-керованого асинхронного електродвигуна»

<i>№ n/ n</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Бали 1-20</i>	<i>Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з запропонованим проектом</i>						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Надійна автономна робота	15		+					
2.	Ціна	20		+					
3.	Енергоефективна система керування	15			+				

Таблиця 6.12 – SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: застосування векторного керування АД, що дозволить покращити енергетичні показники та збільшити робочий ресурс ЛПУ.	Слабкі сторони: Більша складність реалізації проекту.
Можливості: вихід проекту на міжнародний ринок.	Загрози: сильна конкуренція.

Таблиця 6.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1.	Збірка продукту з доступних деталей і налагодження розробником проекту.	89%	3 місяці
2.	Збірка продукту з деталей, які виготовляються власноруч розробником проекту. Нижча ціна, проте цей процес більш затратний по часу.	61%	9 місяців

Прийнявши до уваги можливості запуску проекту на ринок, можна зробити висновок, що альтернатива 1 більш оптимальна, оскільки вона вимагає менше часу та більш ймовірно принесення прибутку.

Розробка ринкової стратегії проекту приведено у табл. 6.14-6.16.

Таблиця 6.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

<i>№ п/п</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>
1.	Підприємства	Надійність роботи, висока енергоефективність.	Оскільки система має досить швидко окупність (що цікавить цільову групу), то при наявності сильної рекламної кампанії, можливо досягти успіху.	Інтенсивність конкуренції між трьома основними компаніями є досить активною
2.	Домашні господарства	Автономність та надійність роботи, високі показники комфорту.		

Таблиця 6.15 – Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ n/ n</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспро- можні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>
1.	Врахування індивідуальних потреб замовників та створення спеціально для них модифікацій.	Рекламна кампанія та наведення переваг системи.	Можливість енергоефективної та надійної роботи системи.	Стратегія спеціалізації.

Таблиця 6.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ n/n</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки</i>
1.	Ні	Здебільшого пошук нових споживачів.	Ні	Стратегія наслідування лідера

Таблиця 6.17 – Визначення стратегії позиціонування

<i>№ п/ п</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспро- можні позиції власного стартап-проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
1.	Відповідність до заявлених характеристик	Стратегія диференціації	Вища енергоефективність та надійність роботи системи	Продуктивність, надійність

Маркетингова програма стартап-проекту наведена в табл.6.18-6.22.

Таблиця 6.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ п/п</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1.	Система з високою енергетичною ефективністю	Менша кількість втрат в системі та більший робочий ресурс	Кількість споживаної енергії, надійність, висока окупність.

Таблиця 6.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару		Сутність та складові		
I.	Товар за задумом	Забезпечення споживача енергоефективною та надійною системою ЛПУ.		
II.	Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
		1. Асинхронний двигун; 2. Система прямого векторного керування;	-	-
III.	Товар із підкріпленням	Гарантія на 2 роки		
		Регулярне технічне обслуговування		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: інноваційність.				

Таблиця 6.20 – Визначення меж встановлення ціни

<i>№ n/n</i>	<i>Рівень цін на товари- замінники</i>	<i>Рівень цін на товари- аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
1.	27000	35000	200000	Мінімальна – 800 Максимальна – 24000

Таблиця 6.21 – Формування системи збуту

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
1.	Покупка товару напрямку	Продаж	Напрямку	Самостійно

Висновки до розділу 6

В даному розділі виконано аналіз можливої реалізації стартап-проекту, завдяки чому було розглянуто проект з точки зору можливості його реалізації та економічної доцільності;

Збірку продукту краще за все виконувати використовуючи готові елементи інших компаній, оскільки це дасть можливість зменшити час необхідний для втілення проекту та отримати максимальну вигоду;

Дослідження показало що вихід на ринок збуту може бути ускладненим не дивлячись на деякі переваги перед конкурентами, оскільки ринок вже зайнятий іменитими компаніями-конкурентами, які ведуть боротьбу. Розроблений продукт має високу енергоефективність, але для виходу на ринок потрібна активна рекламна кампанія.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В даній магістерській дисертації було представлено актуальне дослідження енергетичних характеристик ліфтової підйомної установки на базі векторно-керованого асинхронного електродвигуна. В результаті виконання магістерської роботи були отримані такі результати:

1. Всі задачі по досягненню цілей роботи виконані повністю.
2. В ході огляду вказаних літературних джерел було розглянуто основні типи та структури ліфтових підйомних установок, представлені основні характеристики та сформовано вимоги до технологічного процесу вертикального транспортування людей та вантажів на основі яких обрано найбільш перспективну систему електропривода «ПЧ-АД».
3. В результаті розрахунку елементів ЕМС було обрано асинхронний двигун 4A225M8Y3 потужністю 30 кВт та перетворювач частоти до нього ATV930D37N4 компанії Schneider потужністю 37 кВт. Проведено розрахунок кінематичної схеми ЛПУ.
4. Було представлено математичну модель системи векторного керування асинхронним двигуном з ПІ регулятором швидкості, який забезпечує точне відпрацювання заданої траєкторії швидкості з дуже незначними похибками відпрацювання.
5. На основі отриманої математичної моделі в програмі MATLAB «Simulink» була складена модель для проведення досліджень точності позиціонування кабіни ліфта в точці зупинки на рівні приймального майданчика поверху та характеру зміни вртат в електромеханічній системі ЛПУ в залежності від варіації завантаження кабіни. Окрім цього було досліджено вплив наявності в режимі роботи ліфта періоду дотягування на кількість споживаної потужності. Результати досліджень показали, що використання векторно-керованих асинхронних електроприводів для ліфтових підйомних установок

дасть можливість з високим ступенем точності відпрацювати задану діаграму швидкості. Помилка за швидкістю в точці зупинки кабіни на рівні посадочного майданчика, значно менша, ніж встановлено умовами безпеки, що дозволяє відмовитися від періоду дотягування і підвищити як техніко-економічні показники ліфтового підйому, так і рівень безпеки переміщення людей і вантажів. Таким чином можна рекомендувати використовувати векторно - керовані асинхронні електродвигуни в електромеханічних системах ліфтових вертикальних підйомних установок.

6. Проведено розробку стартап-проекту який дозволяє впровадити досліджений алгоритм в експлуатацію..

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. The Vertical Transportation Handbook, Fourth Edition Edited by George R. Strakosch and Robert S. Caporale
2. Архангельский Г.Г. и др. Лифты: Учебник для вузов. 2-е издание. Під ред. Волкова Д.П. – М.: Изд-во АСВ, 2010.
3. Архангельский Г.Г., Бабичев С.Д. и др. Гидравлические лифты: Учебное пособие для вузов. – М: Изд-во АСВ, 2002.
4. Волков Д.П., Ионов А.А., Чутчиков П.И. Атлас конструкции лифтов: Учебное пособие для вузов. – М: Изд-во АСВ, 2003.
5. Яновский Л. (перевод с английского). Проектирование механического оборудования лифтов (монография). Научный редактор Архангельский Г.Г. – М: Изд-во АСВ, 2005.
6. Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов. Сборник документов. – М.: ДЕАН, 2010.
7. Архангельский Г.Г., Ионов А.А. Основы расчета и проектирования лиф- тов. – М.: МИСИ, 1985.
8. Архангельский, Г.Г. Гидравлические лифты: конструкция, монтаж и обслуживание: учебное пособие. – М.: МГСУ, 2013.
9. Бадагуев Б.Т. Лифты. Организация безопасной эксплуатации. – М.: Альфа-Пресс, 2012.
10. Вишневецкий И.М. Модернизация лифтов. – М.: Стройиздат, 1993.
11. Вишневецкий И.М., Ермишкин В.Г. Охрана труда при техническом об служивании пассажирских и грузовых лифтов: справ. - 2-е изд., – М.: Стройиздат, 1988.
12. Ермишкин В.Г., Нелидов И.К., Коханов К.П. Наладка лифтов. - 2-е изд., перераб.и доп. – М.: Стройиздат, 1992.
13. Иоффе Е.Я. Высокоскоростные лифты. – М.: Стройиздат, 1988.
14. Макаров А.Г., Ломакин Г.К. Автоматика скоростных лифтов. – М.: Стройиздат, 1989.

15. Манухин С.Б., Нелидов И.К. Устройство, техническое обслуживание и ремонт лифтов. – М.: *Академия*, 2004.
16. Полетаев А.А. Эксплуатация лифтов: Вопросы и ответы: справ. - 2-е изд., – М.: *Стройиздат*, 1991.
17. Полковников В.С., Лобов Н.А., Грузинов Е.В. Монтаж и эксплуатация лифтов: учеб. - 5-е изд., – М.: *Высш.шк.*, 1986.
18. Райков Е.И., Грузинов Е.В. Справочник молодого монтажника лифтов. – М.: *Высш.шк.*, 1990.
19. Федосеев В.Н., Гончаров Г.К. Безопасная эксплуатация лифтов. – М.: *Стройиздат*, 1986.
20. С.М. Пересада, докт. техн. наук, М.А. Коноплінський, асист., В.М. Трандафілов, асп. Векторне керування моментом асинхронного двигуна, адаптивне до варіацій активних опорів статора і ротора, побудоване на основі нелінійного принципу розділення. Національний технічний університет України "Київський політехнічний університет", 2014. 6 с.
21. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни “Системи керування електроприводами” для студентів денної форми навчання зі спеціальності “ Електромеханічні системи автоматизації та електропривод” / Укл. О.І.Кіселичник. - К. : НТУУ “КПІ” , 2002 . – 49с.
22. Кравчик А. Э. Шлаф М. М. Асинхронные двигатели серии 4А:Справочник/А90. – М.: *Энергоатомиздат*, 1982.- 29с.
23. Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи з дисципліни “Теорія мехатронічних систем” для студентів денної форми навчання зі спеціальності “ Електромеханічні системи автоматизації та електропривід” / Укл. Пересада С.М., Ковбаса С.М. - К. : НТУУ “КПІ” , 2011 . – 82с.

24. Пересада С.М. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційних робіт для студентів напрямку підготовки 5.050702-«Електромеханіка» спеціальності 6.05070204 «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» / С.М. Пересада, С.М. Ковбаса, С.С. Димко. – К: НТУУ «КПІ», 2014. – 43с.
25. Попович М.Г., д.т.н., проф., Теряєв В.І., к.т.н., доц., Кіселичник О.І., к.т.н., доц., Бур'ян С.О., студент / «Особливості синтезу та дослідження електромеханічних систем з послідовною корекцією та частотнорегульованими асинхронними двигунами»
26. С.М. Пересада, докт. техн. наук, М.А. Коноплінський, асист., В.М. Трандафілов, асп. Векторне керування моментом асинхронного двигуна, адаптивне до варіацій активних опорів статора і ротора, побудоване на основі нелінійного принципу розділення. Національний технічний університет України "Київський політехнічний університет", 2014. 6 с.
27. Д. С. Димко, асп.. Векторне керування асинхронними двигунами з максимізацією співвідношення момент-струм статора, 2015. 29 с.
28. Автоматизація електромеханічних систем. курсовий проект. Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів напрямку підготовки 5.050702 – "Електромеханіка" спеціальності "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод" / Уклад: С. М. Пересада, С. М. Ковбаса, С. С. Димко, К.: НТУУ "КПІ", 2014 р., 43 с.
29. Пересада С.М., Ковбаса С.М. – Узагальнений алгоритм непрямого векторного керування асинхронним двигуном // Тем. Електродинаміка. – 2002. – 17с – 22с.
30. ГОСТ 3077-80: [Електронний ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-3077-80>

- 31.Перетворювач частоти [Електронний ресурс]. – URL:
[https://electrocontrol.com.ua/preobrazovateli-chastoty/atv930d37n4-
preobrazovatel-chastoty-atv930-37-30kvt-380v-3f](https://electrocontrol.com.ua/preobrazovateli-chastoty/atv930d37n4-preobrazovatel-chastoty-atv930-37-30kvt-380v-3f)